

Masterarbeit

Auswirkungen einer langjährigen Klärschlamm- und Bioabfallkompostdüngung auf den Schwermetallgehalt von Feldfutter

verfasst von

Sandra KAPP, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Nutztierwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Wien, Oktober 2021

Betreut von:

Univ. Doz. DI Dr. Karl Buchgraber
Institut für Pflanzenbau
Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Danksagung

Mit diesen Zeilen möchte ich jenen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, aber auch jenen, die mich während meines Studiums begleitet haben.

Ein großes Dankeschön gilt meinem Betreuer Herrn Dipl. Ing. Univ. Doz. Dr. Karl Buchgraber. Vielen Dank für die Unterstützung und Begleitung während dieser Zeit. Durch Ihren fachlichen Input, die gemeinsamen Treffen und anregenden Gespräche haben Sie wesentlich zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen. Weiters möchte ich mich bei Herrn Herbert Buchgraber und seinem Team für die Betreuung der Versuchsflächen bedanken. Ein weiterer Dank gilt der HBLFA Raumberg-Gumpenstein sowie der Firma Saubermacher Dienstleistung AG, ohne diese beiden wichtigen Partner hätte der Versuch nicht durchgeführt werden können.

Ein weiterer Dank gilt Lena Beck und Viktoria Seidl für das Korrekturlesen meiner Arbeit.

Besonders möchte ich mich aber bei meiner Familie bedanken, denn sie sind es, die mir dieses Studium überhaupt erst ermöglicht haben. Ein großes Dankeschön, dass ihr mich meinen Weg gehen lässt und mich in allen Bereichen immer unterstützt. Ohne Euch wäre ich nicht der Mensch, der ich heute bin!

Sandra Kapp

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Ort, Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Die Bestrebungen einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft sind in Österreich sehr groß, da bereits nahezu 100% der Grünlandflächen mit wirtschaftseigenem Dünger gedüngt werden (Buchgraber, 2018). Um den Kreislauf vollkommen zu schließen, muss man auch den Menschen mit seinen biogenen Abfällen und Ausscheidungen hinzufügen. Klärschlamm- und Bioabfallkompost können wertvolle Nährstoffe, aber auch Schadstoffe wie Schwermetalle, Krankheitserreger etc., enthalten. Um diese beiden Düngeformen bedenkenlos anwenden zu können, bedarf es einiger Maßnahmen, wie der richtigen Auswahl des Bodens sowie des biogenen Ausgangsmaterials, die im Vorfeld der Düngung abgeklärt werden müssen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Schwermetallgehalten im Klee grasfütter nach einer langjährigen Düngung mit Klärschlamm- und Bioabfallkompost. Im vorgelagerten Versuch wurden fünf Düngevarianten über mehrere Jahre in einem Fruchtfolge- sowie Silomaismonokulturversuch angewendet. Die fünf Varianten, welche auf den Flächen angewendet wurden, waren Bioabfallkompost, Stallmistkompost, NPK, Klärschlammkompost und Ungedüngt als Vergleichsvariante. Im Jahr 2018 wurde der Düngeversuch eingestellt. Um die Nachwirkungen dieser fünf Düngearten zu ermitteln begann man im Jahr 2019 mit einem Klee grasversuch. Dabei wurde auf den gesamten Versuchsflächen eine Klee gras Mischung ohne jegliche Düngung kultiviert. Bei den insgesamt drei Aufwüchsen wurden der TM-Ertrag, die Inhaltsstoffe sowie die Schwermetallgehalte ermittelt. Es zeigte sich, dass bei diesem sogenannten Nachwirkungsversuch keine signifikanten Unterschiede zwischen den fünf Düngevarianten sowie keine erhöhten Werte hinsichtlich der Schwermetallgehalte im Klee grasfütter bei allen drei Aufwüchsen festzustellen waren. Bezogen auf die TM-Erträge erzielte die Versuchsfläche des Fruchtfolgeversuchs deutlich höhere Erträge als die Silomaismonokulturfläche. Die Spannweite zwischen den Versuchsflächen ist deutlich in der Ungedüngten Variante zu erkennen. Mit einem Jahresertrag von 6.115 kg TM/ha liegt diese Variante auf den Fruchtfolgeversuchsflächen um 66,6% höher als jene des Silomaismonokulturversuchs, welche nur 3.670 kg TM/ha erzielte. Im Bereich der N-Entzüge ist zu erkennen, dass in beiden Versuchsflächen jeweils die NPK-Variante die stärksten Entzüge aufweist.

Abstract

Today's agriculture in Austria harbours high ambitions to establish a closed circular economy. 100% of the grassland area is already fertilised employing dung from the farm. If people were included in the circular economy of agriculture, biogenic waste and sewage sludge would also have to be added to the grassland land. These two fertilizers contain important nutrients that are in most cases not returned to the soil. However, many farmers fear that heavy metals will contaminate their soil and feed if sewage sludge and organic waste are utilised as a fertiliser. In the following experiment which was carried out in this area from 1995 to 2018, five fertilisation variants were used (sewage sludge compost, stables manure compost, organic waste compost, mineral fertiliser and one unfertilised field as a comparison). These fertilisation variants were employed in a silage maize monoculture as well as in a crop rotation system.

In 2018, the fertilisation on the testing area was brought to a halt in order to determine the after-effects. In the following year, clover grass was cultivated in all test areas. The experiment revealed that there is no significant difference in the after-effect of the utilisation of a fertiliser in relation to the heavy metal content in clover grass. After several years, an increase of heavy metals in the soil of all types of fertilisers was identified. However, the contents are below the limit value of the compost regulation. The experiment further demonstrated that the clover grass yields in the areas where crop rotation was employed are much higher than in the monoculture area. This, in turn, indicates that soil fertility can be more effectively achieved when practising crop rotation.

Vorwort

Eine Kreislaufwirtschaft in Richtung Boden – Pflanze – Nahrungsmittel – Klärschlamm – Boden ist in Österreich zum größten Teil nicht gegeben (Onnen, 2001). Zwar werden in Österreich nahezu 100% der Grünlandflächen mit wirtschaftseigenem Dünger gedüngt, jedoch wird zu diesem Kreislauf der Mensch mit seinen Abwässern und biogenen Abfällen meist nicht integriert (Buchgraber, 2018). Klärschlamm und auch Bioabfall können wertvolle Nährstoffe wie beispielsweise Phosphor beinhalten, aber auch Schwermetalle und Krankheitserreger. Gerade im Bereich des Phosphors wird oftmals versucht einen Nährstoffmangel im Boden durch mineralische Düngemittel auszugleichen. Die für die Düngemittel verwendeten Erze können unerwünschte Begleitstoffe wie Cadmium, Thallium oder auch radioaktive Stoffe, wie Uran beinhalten (Schönberg und Raupenstrauch, 2015). Werden Klärschlamm und Bioabfall in Form von Komposten angewendet, sind im Vorfeld einige Schritte zu setzen, um den Kompost bedenkenlos anwenden zu können (Buchgraber, 2019).

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkungen einer langjährigen Klärschlamm- und Bioabfallkompostdüngung auf den Schwermetallgehalt von ungedüngten Klee grasfütter zu ermitteln. Die im vorgelagerten Fruchtfolge- sowie Silomaismonokulturversuch angewendeten Düngevarianten waren Stallmistkompost, Bioabfallkompost, Klärschlammkompost, NPK sowie eine Ungedüngte Variante als Vergleich. Im Jahr 2019 wurde die Düngung vollkommen eingestellt und auf allen Versuchsflächen wurde die gleiche Kulturart (Klee grasfütter) angebaut. Um die Nachwirkungen dieser fünf Düngevarianten zu analysieren, wurden die Erträge, Inhaltstoffe sowie die Schwermetallgehalte des Klee grasfütters ermittelt. Vor allem die Schwermetallgehalte sind für diese Arbeit besonders von Bedeutung, da Klärschlamm- und Bioabfallkompost als starke Quellen dafür gelten.

Weitere Arbeiten, die den vorgelagerten Düngeversuch näher betrachten, sind:

Bauer, M. und Förstel, T. (2019): Welche Auswirkungen hat die langjährige Anwendung von Klärschlammkompost auf Boden, Ertrag und Schwermetallbelastung bei Gemüse?. Wien: Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur.

Bogensperger, H.; Harrer, M.; und Wagner, R. (2019): Auswirkungen von Biokompost, Stallmistkompost und Klärschlammkompost auf Ertrag und Schwermetallgehalte im Boden und in der Pflanze. Wien: Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur.

Ebner, M. (2019): Gibt es negative Auswirkungen von Klärschlammkompost auf Boden und Pflanze hinsichtlich Schwermetallgehalte und Schwermetallbilanzen? Wien: Masterarbeit, Universität für Bodenkultur.

-
- Fraiß, K. (2020): Nehmen Kräuter mehr Schwermetalle aus dem Klärschlammkompost auf als Gemüse?. Wien: Masterarbeit, Universität für Bodenkultur.
- Mayr, C.; Moser, J. und Sturm, L. (2019): Gibt es Unterschiede in der Nährstoffversorgung bei Kürbis hinsichtlich Komposte & mineralische NPK-Düngung auf Ertrag & Schwermetallbelastung? Wien: Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur.
- Razenberger, D.; Permoser, M. und Schiftner, G. (2019): Wohin gehen bei der Kartoffel die Schwermetalle aus dem Klärschlamm-Kompost – Blatt oder Knolle? Wien: Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur.
- Schwab, A. (2021): Die Auswirkungen von Klärschlammkompost auf Ertrag und Inhaltsstoffe bei Getreide und Raps. Wien: Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur.
- Trummer, F. und Wieser, S. (2019): Wie wirkt sich die Düngung mit Klärschlammkompost auf Silomais nach 16 Jahren Monokultur hinsichtlich Ertrag und Schwermetallgehalte im Futter aus? Wien: Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1.	Was ist Kompost und wie entsteht er?	1
1.2.	Inhaltsstoffe des Kompostes	5
1.3.	Kreislaufwirtschaft.....	9
1.4.	Wichtige Richtlinien bezogen auf Umwelt und Boden	9
1.4.1.	Kompostverordnung und Bodenschutzgesetz	10
1.4.2.	Düngemittelgesetz und Verordnung	14
1.5.	Schwermetallproblematik und Auswirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze	15
1.6.	Fragestellung.....	22
2.	Material und Methoden	23
2.1.	Standort, Klima und Boden	23
2.2.	Versuchsanlagen	23
2.3.	Bodenbeprobung	25
2.4.	Düngung	25
2.5.	Versuch „Nachwirkung auf das Klee gras“	26
2.6.	Datenauswertung.....	27
3.	Ergebnisse und Diskussion.....	28
3.1.	Ergebnisse der Bodenbeprobung auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs	28
3.2.	Ergebnisse des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs	30
3.2.1.	TM-Erträge beim ersten Aufwuchs.....	30
3.2.2.	Inhaltsstoffe des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs	33
3.2.2.1.	Weender Futtermittelanalyse.....	33
3.2.2.2.	Mengenelemente	41
3.2.2.3.	Spurenelemente.....	43
3.2.2.4.	Schwermetalle	46
3.2.3.	Nährstoffentzüge über das Erntegut	51
3.3.	Ergebnisse des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs	55
3.3.1.	TM Erträge beim ersten Aufwuchs.....	55
3.3.2.	Inhaltsstoffe des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaisversuchs.....	56
3.3.2.1.	Weender Futtermittelanalyse.....	56
3.3.2.2.	Mengenelemente	58
3.3.2.3.	Spurenelemente.....	59
3.3.2.4.	Schwermetalle	60
3.3.3.	Nährstoffentzüge über das Erntegut	63

3.4.	Ergebnisse des zweiten Aufwuchs auf den Fruchtfolgeversuchsflächen	66
3.4.1.	TM-Erträge beim zweiten Aufwuchs.....	66
3.4.2.	Inhaltsstoffe des zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs 67	
3.4.2.1.	Rohprotein	67
3.4.2.2.	Phosphor.....	68
3.4.2.3.	Schwermetalle	69
3.4.3.	Nährstoffentzug über das Erntegut	74
3.5.	Ergebnisse des zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs	76
3.5.1.	TM-Erträge beim zweiten Aufwuchs.....	76
3.5.2.	Inhaltsstoffe des zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaisversuchs ...	77
3.5.2.1.	Rohprotein	77
3.5.2.2.	Phosphor.....	77
3.5.2.3.	Schwermetalle	78
3.5.3.	Nährstoffentzug über das Erntegut	80
3.6.	Ergebnisse des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs	82
3.6.1.	TM-Erträge beim dritten Aufwuchs.....	82
3.6.2.	Inhaltsstoffe des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs .	83
3.6.2.1.	Rohprotein	83
3.6.2.2.	Phosphor.....	84
3.6.2.3.	Schwermetalle	85
3.6.3.	Nährstoffentzug über das Erntegut	90
3.7.	Ergebnisse des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs 92	
3.7.1.	TM-Erträge beim dritten Aufwuchs.....	92
3.7.2.	Inhaltsstoffe des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaisversuchs	93
3.7.2.1.	Rohprotein	93
3.7.2.2.	Phosphor.....	93
3.7.2.3.	Schwermetalle	94
3.7.3.	Nährstoffentzug über das Erntegut	96
3.8.	Jahresverläufe der TM-Erträge im Nachwirkungsversuch	97
3.9.	Jahresverlauf der Rohproteinträge und N-Entzüge	100
3.10.	Jahresverlauf der Schwermetallgehalte	105
4.	Schlussfolgerung und Ausblick	114
5.	Zusammenfassung	116
6.	Literaturverzeichnis.....	118
7.	Tabellenverzeichnis	123
8.	Abbildungsverzeichnis	124

9.	Abkürzungsverzeichnis	127
10.	Anhang	127

1. Einleitung

Ziel unserer Abfallwirtschaft ist es, Abfälle getrennt einzusammeln und zu verwerten. Hierbei stellt die Kompostierung einen wichtigen Bereich dar, um Abfallprodukte wie Klärschlamm oder biogene Abfälle zu verwerten (Kompost und Biogas Verband Österreich, 2016). Wichtig hierbei ist, dass der Abfall richtig getrennt wird. In Österreich wurden im Jahr 2016 ca. 1.460.800 Tonnen Siedlungsabfälle (Restmüll) eingesammelt. Hierbei zeigte sich, dass 12% aus biogenen Abfällen besteht (BMK, 2021)

Im Jahr 2019 wurden in Österreich rund 235.000 Tonnen (gerechnet als Trockensubstanz) Klärschlamm behandelt (BMK, 2021). Verglichen mit dem Jahr 2015, wo insgesamt 239.800 Tonnen Klärschlamm erzeugt wurde, zeigt sich ein geringer Rückgang (BMNT, 2017). Insgesamt wurden davon in Österreich im Jahr 2019 rund 21% auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht (BMK, 2021).

Laut dem Bundes-Abfallwirtschaftsplan (2017) wurden im Jahr 2015 in Österreich rund 935.900 Tonnen biogene Abfälle aus dem Haushalt eingesammelt. Bezogen auf die Steiermark, sind das ca. 67.300 Tonnen Abfälle. Diese biogenen Abfälle werden in Kompostierungs- und Biogasanlagen weiterverarbeitet (BMNT, 2017). Verglichen mit dem Jahr 2019, wo 1.058.801 Tonnen biogene Abfälle eingesammelt wurden, zeigt sich ein deutlicher Anstieg in diesem Bereich (BMK, 2021).

1.1. Was ist Kompost und wie entsteht er?

Unter Kompost wird ein Material verstanden, welches aus vielen verschiedenen biogenen Ausgangsmaterialien entstanden ist. Die Qualität des Kompostes wird von unterschiedlichen Faktoren, wie der Anzahl der Ausgangsmaterialien, der Rottetemperatur, vom Feuchtigkeitsgehalt sowie der Sauerstoffversorgung im Material und von der Rottedauer beeinflusst. Bei der Kompostierung kommt es zu einer exothermen biologischen Umwandlung von organischem Material, dieser Vorgang findet unter aeroben Bedingungen statt. Weiters sind für die Kompostierung sogenannte Destruenten (Mikroorganismen, Ringelwürmer, Asseln oder Kleintiere) notwendig (Amt der Steiermärkischen Landesregierung-Fachabteilung 19D, 2009; BMLFUW, 2005).

Laut der Kompostverordnung (2001) dürfen Komposte nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie mindestens der Qualitätsklasse B entsprechen und wenn Ausgangsmaterialien, welche aus der Anlage 1 (Teil 1 und Teil 2) stammen, verwendet werden. Der Teil 1 entspricht Ausgangsmaterialien für Kompost und Qualitätskompost (beispielsweise organische Abfälle aus dem Garten, pflanzliche Abfälle etc.). Hingegen sind es bei Teil 2 Ausgangsmaterialien für

Kompost und Qualitätsklärschlammkompost (Kommunale Klärschlämme, nur gering belastete Schlämme aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie etc.). Wenn Klärschlämme als Ausgangsmaterial eingesetzt werden, ist es wichtig, dass hierbei die gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte der einzelnen Schwermetalle beachtet werden (BGBl, 2001). Die Schwermetallfrage wird in einem späteren Kapitel noch genauer behandelt.

Je nachdem, welches Ausgangsmaterial vorliegt, ergibt sich ein gewisses Kohlenstoff-Stickstoff Verhältnis. Grundsätzlich sollte dieses Verhältnis zwischen 25-35:1 liegen. Werden beispielsweise Speisereste als Ausgangsmaterial verwendet, so ergibt sich ein C-N-Verhältnis von rund 15:1. Hingegen bei Gartenabfälle liegt das C : N-Verhältnis bei ca. 40:1. Um solche Schwankungen auszugleichen, können Kompostzuschlagstoffe, wie beispielweises Stroh oder Sägespäne, hinzugegeben werden (Amt der Steiermärkischen Landesregierung-Fachabteilung 19D, 2009; BMLFUW, 2005).

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die Minerale und Nährstoffe welche im Ausgangsmaterial vorhanden sind, nicht oder nur sehr schlecht von den Pflanzen verwendet werden können, da diese an die Huminstoffe gebunden sind. Dieses „Problem“ wird durch die Kompostierung gelöst, da hier das organische Material durch die Zersetzung freigesetzt wird (Amt der Steiermärkischen Landesregierung-Fachabteilung 19D, 2009; BMLFUW, 2005).

Wie entsteht Kompost?

Zu Beginn der Kompostierung wird das angelieferte Material einer Eingangskontrolle unterzogen, um bereits vorab Störstoffe zu entfernen. Diese Störstoffe werden mittels eines Trommelsiebs (Maschenweite zwischen 50 und 80 mm) entfernt. Sind im Ausgangsmaterial viele Äste oder Wurzeln vorhanden, müssen diese noch zerkleinert werden. Nach der Materialaufbereitung kommt es zur Durchmischung der entsprechenden Ausgangsmaterialien. In diesem Schritt werden eventuell auch die Kompostzuschlagsstoffe hinzugefügt (BMLFUW, 2005).

In der Hauptrotte kommt es zu einer starken Erwärmung (thermophile Phase, mit Temperaturen von 55 bis 65 °C). Ziel ist es, das Rottegut durch exotherme aerobe Bedingungen abzubauen (BMLFUW, 2005). Dabei wird die organische Substanz (Kohlenwasserstoffe) mit Hilfe von mikrobieller Aktivität in Kohlendioxid, Wasser sowie Biomasse umgewandelt. Dieser Vorgang passiert unter ständiger Zufuhr von Sauerstoff. Hierbei ist es wichtig, dass das Material öfters umgesetzt wird, um einen aeroben Rotteprozess zu erzielen. Weiters sollte die Temperatur nicht über 65 °C hinausgehen, da es sonst zu einer Verlangsamung der Abbaugeschwindigkeit kommen kann und sich auch unerwünschte Stoffwechselprodukte bilden können, welche eventuell zu einer Geruchsbelästigung führen.

Die Phase der Hauptrotte läuft ca. in fünf bis zehn Wochen ab, und vor allem in diesem Zeitraum ist der Sauerstoffverbrauch sehr hoch. Weiters kommt es in dieser Phase auch zu einer starken Absonderung von Wasser (Amt der Steiermärkischen Landesregierung-Fachabteilung 19D, 2009; BMLFUW, 2005).

Die Hauptrotte stellt neben dem Abbauprozess auch noch eine sogenannte Hygienisierungsfunktion dar, weil durch die höheren Temperaturen Unkrautsamen, Pflanzenkeime aber auch pathogene Keime (z.B. durch Fleischreste in Bioabfall) abgetötet werden (Amt der Steiermärkischen Landesregierung-Fachabteilung 19D, 2009; BMLFUW, 2005).

Ist die Hauptrotte abgeschlossen, kommt es zu einer sogenannten Nachrotte. Ziel dieser Nachrotte ist es, das verrottete Material in einen Reife- bzw. Fertigkompost umzuwandeln. Gegenüber der Hauptrotte liegen die Temperaturen hier nur mehr bei rund 40 C°. Bleibt die Temperatur konstant unter 30 C°, so ist die Nachrotte abgeschlossen. Die Dauer der Nachrotte hängt vom jeweiligen Ausgangsmaterial sowie vom Hauptrotteprozess selbst ab (BMLFUW, 2005).

Anschließend wird das Rottegut noch fein aufbereitet. Meistens werden hier noch einmal Störstoffe, wie zum Beispiel kleine Plastik- oder Metallteile, entfernt. Aber auch nicht abgebaute Materialien werden durch Sieben herausgefiltert. Danach ist die Kompostierung abgeschlossen und der fertige Kompost kann gelagert, verwendet oder direkt verkauft werden (BMLFUW, 2005).

Kompostarten

Es wird in Österreich zwischen drei Kompostarten (A+, A oder B) unterschieden. Diese Einteilung basiert aufgrund der Gehalte der Schwermetalle Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium, Quecksilber und Blei (BGBl, 2001).

Parameter	Richtwerte	Grenzwerte
Cadmium (Cd)	-	3,0 mg/kg TM
Chrom (Cr)	-	250 mg/kg TM
Quecksilber (Hg)	-	3,0 mg/kg TM
Nickel (Ni)	-	100 mg/kg TM
Blei (Pb)	-	200 mg/kg TM
Kupfer (Cu)	400 mg/kg TM	500 mg/kg TM
Zink (Zn)	1200 mg/kg TM	1800 mg/kg TM

Tab. 1: Schwermetallgehalt für die Qualitätsklasse B, laut Kompostverordnung (BGBl, 2001).

Parameter	Grenzwerte
Cadmium (Cd)	1,0 mg/kg TM
Chrom (Cr)	70 mg/kg TM
Quecksilber (Hg)	0,7 mg/kg TM
Nickel (Ni)	60 mg/kg TM
Blei (Pb)	120 mg/kg TM
Kupfer (Cu)	150 mg/kg TM
Zink (Zn)	500 mg/kg TM

Tab. 2: Schwermetallgehalte für die Qualitätsklasse A, laut Kompostverordnung (BGBl, 2001).

Parameter	Grenzwerte
Cadmium (Cd)	0,7 mg/kg TM
Chrom (Cr)	70 mg/kg TM
Quecksilber (Hg)	0,4 mg/kg TM
Nickel (Ni)	25 mg/kg TM
Blei (Pb)	45 mg/kg TM
Kupfer (Cu)	70 mg/kg TM
Zink (Zn)	200 mg/kg TM

Tab. 3: Schwermetallgehalte für die Qualitätsklasse A+, laut Kompostverordnung (BGBl, 2001).

Positive Eigenschaften von Kompost

Wird Kompost auf Flächen ausgebracht, so wird den Bodenlebewesen sozusagen Nahrung zugeführt, wodurch man diese fördert. Dies führt zu einem Lebendverbau der Bodenkrümel, was wiederum die Krümelstabilität verbessert und die Erosionsgefahr mindert. Weiters vergrößern sich die Bodenkrümel, was zufolge hat, dass das Wasserspeichervermögen steigt. Ebenfalls zu erwähnen ist, dass es durch den gestiegenen Humusgehalt zu einer besseren Bodenbefahrbarkeit der Fläche kommt. Wie bereits erwähnt, steigt durch das Einbringen von organischer Substanz der Humusgehalt an, was wiederum zu einer besseren Kationenaustauschkapazität führt. Dieser Effekt bewirkt eine gute Nährstoffspeicherung des Bodens (Kompost und Biogas Verband Österreich, 2016).

1.2. Inhaltsstoffe des Kompostes

„Die Nährstoffgehalte von Komposten unterliegen in Abhängigkeit von den Ausgangsstoffen und dem Rottegrad starken Schwankungen“ (BMLF, 2010).

Stickstoff

Stickstoff liegt im Kompost zum größten Teil in organisch gebundener Form vor. Diese Form des Stickstoffes ist für die meisten Pflanzen nur zu einem geringen Teil sofort verfügbar. Daher liegt die Stickstoffwirkung im Anwendungsjahr lediglich bei nur fünf bis zehn Prozent. Hingegen kann man in den nachfolgenden Jahren mit einer N-Verfügbarkeit von rund drei bis fünf Prozent pro Jahr rechnen. Dies ist jedoch von der Mineralisierungsrate abhängig, welche von bodenspezifischen Parametern, pflanzenbaulichen Maßnahmen, Witterungsbedingungen etc. beeinflusst wird (BMLF, 2010). Wird Kompost langfristig, beispielweise auf eine landwirtschaftliche Nutzfläche ausgebracht, führt dies zu einer Humusanreicherung im Boden. Grund für diese Erhöhung ist, dass Kompost einen sehr hohen Gehalt an organischer Masse aufweist (Buchgraber, 2000). Über die Jahre hinweg sollte daher auch die Stickstoffdüngung angepasst werden, um die Pflanzen optimal zu versorgen und auch Verluste zu minimieren (BMLF, 2010). Ein weiterer positiver Effekt des Kompostes ist, dass er durch seine langsamere Stickstoffwirkung sehr gut den Klee aber auch die Untergräser sowie niedere Kräuter fördert. Obwohl Kompost gegenüber Jauche oder auch Gülle nicht so rasch wirkt, führt er langfristig auch zu einer vergleichbaren Stickstoffwirkung, wie sie bei mineralischen Düngemitteln zu sehen ist (Buchgraber, 2018).

In der folgenden Abbildung 1 können die einzelnen Stickstoffgehalte in % TS für Klärschlämme, Gärrückstände sowie für die verschiedenen Kompost Güteklassen abgelesen werden. Die Abbildung 1 basiert auf der Berechnung des Medians der unterschiedlichen Klassen. Dabei ist zu sagen, dass sich vor allem der Klärschlamm mit etwas über 4% der TS und die Gärrückstände mit fast 8% der TS deutlich von den drei Kompostklassen abheben. Die Güteklasse B weist mit 2,00%, am meisten Stickstoff auf, gegenüber den anderen Güteklassen. Bei etwa 2,75% wird die Güteklasse A+ liegen, dicht gefolgt von der Güteklasse A mit ca. 2,5% der TS (Rauter, 2008).

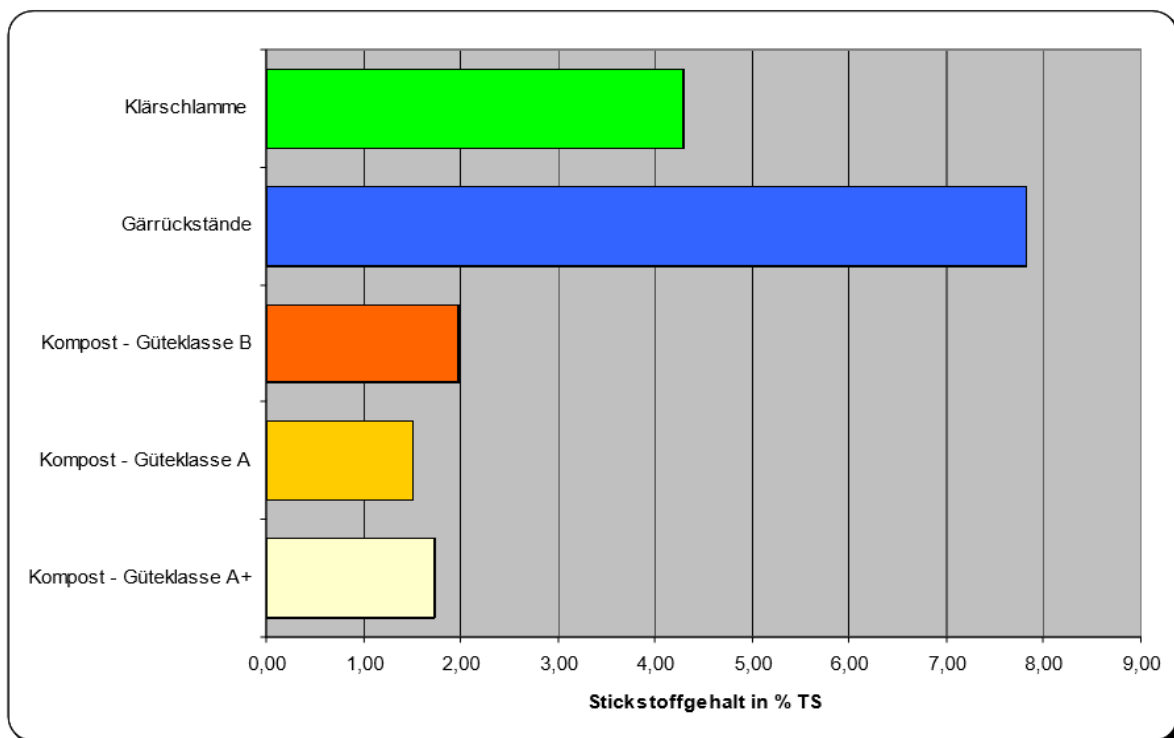


Abb. 1: Stickstoffgehalte (% TS) in den Komposten, in Gärrückständen sowie im Klärschlamm (Rauter, 2008).

Phosphor und Kalium

Diese beiden Nährstoffe sind nicht immer zur Gänze für die Pflanze verfügbar. Die Verfügbarkeit von Phosphor und Kalium ist vom Ausbringungszeitraum, dem Witterungsverlauf sowie der biologischen Aktivität des Bodens abhängig (BMLF, 2010).

	Gesamt (% in TM)	Verfügbar (% in TM)
P	0,13-0,52	0,09-0,22
P ₂ O ₅	0,3-1,9	0,2-0,5
K	0,6-1,5	0,6-1,0
K ₂ O	0,5-3	0,7-1,03

Tab. 4: Bandbreite der Gehalte an Gesamt-P und Gesamt-K (% in TM) im Vergleich zu verfügbaren Gehalten im Kompost (BMLF, 2010).

Die Böden sind meistens gut mit Phosphor versorgt, jedoch ist dieser oftmals nicht Pflanzenverfügbar. Da die über die Düngung eingebrachten Phosphationen an die Bodenmatrix gebunden werden und im Laufe der Zeit aus ihrer labilen Phase in eine stabile Phase übergehen. Sozusagen nimmt die Löslichkeit des Phosphates stark ab, je länger dieser im Boden verweilt (Onnen, 2001).

„Klärschlamm enthält als Wertstoff in der Trockenmasse ca. 27% Kohlenstoff (Energieeinheit), durchschnittlich ca. 4,5% Stickstoff und 2,4% Phosphor (Pflanzennährstoffe) sowie einige Mineralstoffe (z.B. Kalzium und Magnesium)“ (Winter, 2019).

Bioabfallkomposte weisen meistens einen höheren Gehalt an Nährstoffen auf als beispielsweise Grünschnittkompost (BMLF, 2010).

In der folgenden Abbildung 2 kann man die unterschiedlichen Phosphorgehalte in % Trockenmasse von Klärschlamm, Gärrückstände sowie von den einzelnen Kompost-Güteklassen ablesen. Wie auch bereits in der Abbildung 1, basiert auch hier die Abbildung 2 auf der Berechnung des Medians der unterschiedlichen Klassen. Laut Rauter (2008) sind die Phosphorgehalte in Klärschlamm, mit etwas über 5%, am höchsten, Gärrückstände (ca. 2,75%) und Kompost der Güteklasse B (ca. 2,60%), liegen in etwa gleich auf. Die Güteklassen A sowie A+ weisen sehr geringe Gehalte auf. Die Güteklasse A rund 0,75% und A+ etwas unter 0,5% (Rauter, 2008).

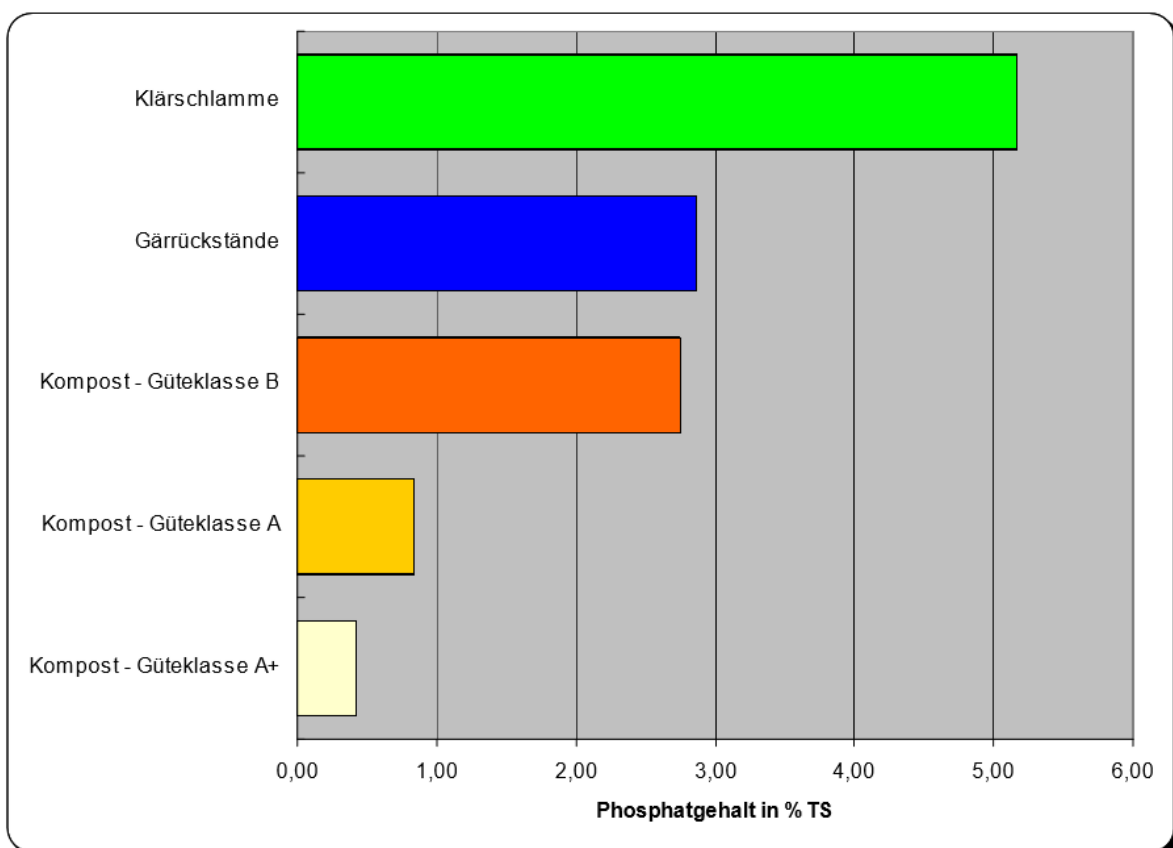


Abb. 2: Phosphorgehalte in den einzelnen Fraktionen (Rauter, 2008).

Nährstoffversorgung der Pflanze mit N, P, K sowie Ca

Pflanzen nehmen Phosphor in Form von Phosphat (H_2PO_4 und HPO_4^{2-}) über das Leitgewebe auf. Weiters findet man Phosphor in Form von esterartigen Bindungen in Phosphorlipiden und Nukleinsäuren. Da Phosphor weder eine Oxidation noch eine Reduktion macht, zählt es nicht zu den assimilierten Nährstoffen. Phosphor ist in der Pflanze an vielen Prozessen (Energistoffwechsel und Zellteilungsprozessen) beteiligt und daher führt ein Mangel zu einem Stau von Assimilaten. Dies hat zur Folge, dass diese nicht mehr weiter im Stoffwechsel verarbeitet werden können. Ein Zeichen dafür an der Pflanze ist die rötliche Verfärbung (Schubert, 2011).

Stickstoff wird von der Pflanze in der Wurzel entweder in einer reduzierten Form (NH_4^+ oder NH_3) aufgenommen oder oxidiert als NO_3^- . In geringen Mengen kann Stickstoff von der Atmosphäre in Form von Ammoniak (gasförmig) über die Stomata aufgenommen werden. Dies erfolgt jedoch nur dann, wenn eine hohe Konzentration in der Atmosphäre vorliegt. Ist dies nicht der Fall, kommt es im Gegenteil eher zu einer Abgabe von Ammoniak. Ammonium kann über die Bodenlösung aufgenommen werden. Daraufhin wird Ammonium dann direkt in die Aminosäuren eingebaut und weiters dann in N-haltige Verbindungen, wie beispielsweise Nukleinsäuren, umgewandelt. Ein Stickstoffmangel zeigt sich meist an aufgehellten oder sogar gelb verfärbten Pflanzen. Bei einem Mangel an Stickstoff versucht die Pflanze zuerst die jungen wachsenden Organe mit N zu versorgen. Daher zeigt sich ein Stickstoffmangel meistens zuerst an den älteren Blättern (Schubert, 2011).

Kalium ist ein einwertiges Ion, welches im Zellsaft mit Konzentration von 100 bis 200 mg angereichert ist. In der Pflanze übernimmt es drei physiologische Aufgaben, nämlich die der osmotischen Funktion, die Enzymaktivität sowie den elektrostatischen Ausgleich (Schubert, 2011).

Auch Calcium übernimmt wichtige Aufgaben in der Pflanze, so ist es beispielsweise bei der Exklusion von Ca_2^+ aus dem Cytosol beteiligt oder als sekundärer Botenstoff, der für die Aktivierung bestimmter Proteine zuständig ist sowie den Stoffwechsel beeinflusst. Da Calcium im Phloem als eher schlecht verlagerbar gilt, tritt ein Mangel vorwiegend in jenen Organen auf, die über das Phloem mit Assimilaten versorgt werden. Dazu zählen die wachsenden Meristeme von Sprossen sowie Wurzelspitzen und Früchte. Häufige Krankheiten, die aufgrund von Ca-Mangel auftreten sind Strippigkeit, Fruchtfäule oder auch Spitzendürre (Schubert, 2011).

1.3. Kreislaufwirtschaft

Denkt man an Kreislaufwirtschaft, wird in den meisten Fällen nur an tierischen Wirtschaftsdünger gedacht. In Österreich werden rund 100% der Grünlandflächen mit betriebseigenen Wirtschaftsdünger gedüngt. Durch diese Art der Wirtschaftsdüngerverwendung wäre im Sinne der landwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft der Kreis geschlossen (Buchgraber, 2018). Würde man jedoch den ganzen Kreislauf zählen, müssten sowohl die Ausscheidungen der Tiere als auch die des Menschen hinzugerechnet werden. Durch kommunale Abwasseranlagen werden die Nährstoffe, wie z.B. Phosphor, nicht mehr direkt auf die Böden aufgebracht. Um diese Lücke wieder zu schließen, sollten die anfallenden Nährstoffe als Dünger wieder dem Boden zugeführt werden. Es wird vor allem versucht diese Lücke, beispielsweise von Phosphor mit mineralischen Düngern, zu kompensieren. Das Rohphosphat wird meistens aus phosphorhaltigen Erzen gewonnen, was wiederum eine Ressourcenminderung sowie Raubbau darstellt. (Schönberg & Raupenstrauch, 2015). Diese müssen in Österreich meistens aus geopolitisch instabilen Regionen importiert werden. Weltweit werden in etwa 80-90% der abgebauten Erze für die Herstellung von Düngemittel verwendet. Daher wird vor allem die Entwicklung in der Landwirtschaft durch die Phosphor Nachfrage stark beeinflusst. Zwar ist der Verkauf von P-Düngemitteln in den letzten Jahren in Österreich gesunken, durch eine bessere Versorgung der Böden sowie gezielterer Düngung, jedoch hat der Düngemittelabsatz in anderen Ländern (Schwellenländern) zugenommen. Ein weiteres Problem, welches bei der Verwendung von mineralischen Düngemitteln auftreten kann ist, dass die verwendeten Erze oftmals auch in höheren Konzentrationen unerwünschte Begleitstoffe wie Cadmium, Thallium oder auch radioaktive Stoffe, wie Uran, beinhalten können. Dabei wäre die P-Rückgewinnung, in Form von Kompost, eine Maßnahme von vielen weiteren, um den Kreislauf zu schließen (Egle et al., 2016).

„Die Verwertung der organischen Substanz im Sinne der Kreislaufführung Boden – Pflanze – Nahrungsmittel – Klärschlamm – Boden ist eindeutig zu bevorzugen, sofern die Sekundärnährstoffe aus landwirtschaftlicher Sicht unbedenklich sind“ (Onnen, 2001).

1.4. Wichtige Richtlinien bezogen auf Umwelt und Boden

Da im Klärschlamm neben Nährstoffen auch Schadstoffe, wie beispielsweise Schwermetalle, enthalten sind, kann es durch die Ausbringung auch zu Problemen kommen. Deswegen gibt es Gesetze, wie das Bodenschutzgesetz oder die Klärschlammverordnung, die solche Dinge genauestens regeln (Winter, 2019).

1.4.1. Kompostverordnung und Bodenschutzgesetz

Kompostverordnung

In der Kompostverordnung (BGBl II Nr. 292/2001) werden die Qualitätsanforderung sowie die Art und die Herkunft der Ausgangsmaterialien, die Kennzeichnung und das In-Verkehr-Bringen von Komposten aus Abfällen geregelt. Die Komposte dürfen nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn sie alle Anforderungen der Kompostverordnung erfüllen. Haben sie alle Anforderungen erfüllt, verlieren sie mit der Deklaration als Kompost die Abfalleigenschaft gemäß dem § 3 Z17. Wie bereits zuvor erwähnt, werden die Komposte in bestimmte Qualitätsstufen (A, A+ und B) eingeteilt. Grundlage für diese Einteilung sind die jeweiligen Schwermetallgehalte (siehe Tabelle 1-3). Es dürfen nur jene Komposte in Verkehr gebracht werden, die mindestens die Qualitätsklasse B erfüllen (BGBl, 2001). „Komposte, die gemäß § 12 Abs. 6 und 7 als Qualitätskompost und gemäß § 12 Abs. 8 als Qualitätsklärschlammkompost bezeichnet werden dürfen, haben darüber hinaus die Anforderungen der Anlage 2 Teil 2 (Qualitätsklasse A) einzuhalten“ (BGBl, 2001).

Weiter sind auch die Anwendungsbereiche, wie z.B. Landwirtschaft, Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien, Erdenherstellung und Biofilterbau in der Kompostverordnung geregelt. Im Bereich der Landwirtschaft werden Komposte zur Bodenverbesserung, Düngung und für die Rekultivierung sowie für Erosionsschutzmaßnahmen eingesetzt. Weiters ist zu sagen, dass jene Komposte die ihren Anwendungsbereich in der Landwirtschaft haben, aus Ausgangsmaterialien der Anlage Teil 1 oder Teil 2 hergestellt werden, mindestens die Qualitätsanforderungen der Qualitätsklasse A einhalten müssen. Wird Schlamm der Anlage 1 Teil 2 Tabelle 2 als Ausgangsmaterial eingesetzt, muss dieser die Grenzwerte der Anlage 1 Teil 2 Tabelle 2c einhalten (BGBl, 2001).

In der folgenden Tabelle 5 können die Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial abgelesen werden (BGBl, 2001).

Parameter	Grenzwert
Zink (Zn)	1.200 mg/kg TM
Kupfer (Cu)	300 mg/kg TM
Chrom (Cr)	70 mg/kg TM
Nickel (Ni)	60 mg/kg TM
Blei (Pb)	100 mg/kg TM
Cadmium (Cd)	2 mg/kg TM
Quecksilber (Hg)	2 mg/kg TM

Tab. 5: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost (BGBl, 2001).

Bei der Kompostherstellung gibt es sowohl eine Eingangs- als auch eine Endproduktkontrolle. Bei der Eingangskontrolle hat der Hersteller zu kontrollieren, ob die verwendeten Ausgangsmaterialien für die Kompostherstellung zulässig sind. Befinden sich unzulässige Materialien im Ausgangsmaterialien, so sind diese vor der Kompostierung zu entfernen. Weiters sind laut Kompostverordnung (2001) die Herkunft, Art und Menge sowie auch ihr Verbleib getrennt aufzuzeichnen (BGBl, 2001).

Bei der Endproduktkontrolle hat der Hersteller sicherzustellen, dass die Kompostcharge vor dem In-Verkehr-Bringen gut durchgemischt wurde, damit das Endprodukt möglichst homogen ist. Üblicherweise werden in regelmäßigen Abständen Güterüberwachungen durchgeführt, sowie seuchenhygienische Untersuchungen (BGBl, 2001).

Bodenschutzgesetz in Österreich

In Österreich wird der Bodenschutz als Sparte des Umweltschutzes angesehen. Dieser ist im Bundesverfassungsgesetz über den umfangreichen Umweltschutz (BGBl. Nr. 491/1984) geregelt. Der Kompetenzbereich des Bodenschutzes liegt in Österreich bei den einzelnen Bundesländern. Hingegen wird in Deutschland dieser Bereich durch ein bundesweites Bodenschutzgesetz geregelt (Umweltbundesamt, 2019).

In Oberösterreich regelt das Bodenschutzgesetz von 1991 beispielweise die Ausbringung von Klärschlamm, Düngung oder auch Pflanzenschutzmitteln. Ziel dieser Verordnung ist es, den Erhalt des Bodens sicher zu stellen, sowie den Boden vor Erosion, Bodenverdichtung und Schadstoffeintragung zu schützen. Eine weitere Aufgabe besteht darin, die Bodengesundheit zu verbessern oder wiederherzustellen. Dafür gibt es beispielsweise im Klärschlammbereich festgelegte Grenzwerte hinsichtlich der Kupfer- und Zinkgehalte aber auch für die Gehalte an organischen Stoffen (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 1991). Genauere Regelungen gibt es im LGBl Nr. 62/2006. In diesem Gesetzesblatt sind die genauen Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Klärschlamm festgelegt. Weiters werden auch noch Grenzwerte für Böden, auf die Klärschlamm ausgebracht wird, aufgelistet (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 2006).

Auch im Burgenland gibt es ein Bodenschutzgesetz (LGBl Nr. 87/1990), welches das Ziel hat, die Fruchtbarkeit des Bodens nachhaltig zu gewährleisten. Auch hier soll das Gesetz den Schadstoffeintrag und die Bodenverdichtung vermindern oder zur Gänze verhindern (Amt der Burgenländischen Landesregierung, 1990). Genaue Grenzwerte im Bereich von Schwermetallgehalte werden in der Klärschlamm- und Müllkompostverordnung von 1991 geregelt (Amt der Burgenländischen Landesregierung, 1991). Das nächste Bodenschutzgesetz (LGBl Nr. 66/1987) kommt aus der Steiermark. Wie bereits die letzten

beiden Gesetzesblätter befasst sich auch dieses mit dem Ziel, die Böden vor Schadstoffeintragung zu schützen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten sowie Erosion und Verdichtung zu verhindern (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 1987). Auch die Steiermark hat eine genaue Auflistung der Schwermetallgrenzen herausgegeben. Diese findet man in der Klärschlammverordnung LGBl Nr. 94/2007 (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007).

In der **Steiermärkischen Klärschlammverordnung** ist geregelt, welche Schadstoffgehalte in landwirtschaftlichen Böden maximal zulässig sind:

- Zink: 150 mg/kg
- Kupfer: 60 mg/kg
- Chrom: 100 mg/kg
- Blei: 100 mg/kg
- Nickel: 60 mg/kg
- Cadmium: 0,5 mg/kg
- Quecksilber: 0,5 mg/kg

(Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007).

Vor allem für diesen Versuch sind das Bodenschutzgesetz der Steiermark sowie die Steiermärkische Klärschlammverordnung von Bedeutung, da sich die Versuchsflächen in der Steiermark (Bezirk Voitsberg) befinden.

Ebenso gibt es auch in Niederösterreich und in Salzburg ein Bodenschutzgesetz. Beide verfolgen ähnliche Ziele wie auch die Bundesländer zuvor. In Niederösterreich werden die Schwermetallgrenzen ebenfalls wieder in der Klärschlammverordnung (LGBl Nr. 6160/2-0) aufgelistet (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2015). In Vorarlberg gibt es kein Bodenschutzgesetz, sondern eine Bodenqualitätsverordnung. Dieses Gesetz zielt jedoch auf die gleichen Absichten ab wie die Bodenschutzgesetzte der anderen Länder. Auch hier gibt es Angaben zu Grenzwerten im Boden (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2018).

In der folgenden Tabelle 6 sind die Schadstoffgrenzwerte für Klärschlämme in den jeweiligen Bundesländern angeführt.

	Oberösterreich (LGBI Nr. 62/2006)	Niederösterreich (LGBI 6160/2-0)	Steiermark (LGBI Nr. 89/2007)	Burgenland (LGBI Nr. 87/1990)
Zink	1.600 mg/kg TS	1.500 mg/kg TS	1.200 mg/kg TS	1.000 mg/kg TS
Kupfer	400 mg/kg TS	300 mg/kg TS	300 mg/kg TS	300 mg/kg TS
Chrom	400 mg/kg TS	70 mg /kg TS	70 mg/kg TS	100 mg/kg TS
Blei	400 mg/kg TS	100 mg /kg TS	100 mg/kg TS	100 mg/kg TS
Nickel	80 mg/kg TS	60 mg/kg TS	60 mg/kg TS	60 mg/kg TS
Cadmium	5 mg/kg TS	2 mg/kg TS	2 mg/kg TS	2 mg/kg TS
Quecksilber	7 mg/kg TS	2 mg/kg TS	2 mg/kg TS	2 mg/kg TS

Tab. 6: Schadstoffgrenzwerte von Klärschlamm in den einzelnen Bundesländern (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 2006; Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2015; Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007 und Amt der Burgenländischen Landesregierung, 1990).

Die für das Burgenland dargestellten Schwermetallgrenzwerte im Klärschlamm entsprechen der Güteklasse 1. Im Gesetzblatt LGBI Nr. 87/1990 sind ebenso die Grenzwerte für die Güteklasse 2 angeführt (Amt der Burgenländischen Landesregierung, 1990).

Ausbringungsverbot von Klärschlamm in Österreich

In Wien gilt ein generelles Ausbringungsverbot von Klärschlamm. Eine Ausnahme von diesem Verbot stellen hygienisch unbedenkliche Produkte, welche Klärschlamm beinhalten, dar. Dies wären z.B. Düngemittel, Komposte sowie Erden. Werden diese hygienisch unbedenklichen Produkte auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht, müssen diese bestimmte Richtlinien erfüllen. Mehr als 1.000 Enterobakterien dürfen nicht pro Gramm nachgewiesen werden. Weiters legt die Richtlinie auch fest, dass pro 100 g keine Enteroviren feststellbar sein dürfen. Es dürfen sich auch keine Salmonellen im Erzeugnis befinden. Eine weitere Voraussetzung ist, dass das Produkt keine Wurmeier beinhaltet, die für Tier und Mensch gefährlich sein können. Werden diese Bedingungen erfüllt, darf Klärschlamm in Form von Erden, Kompost oder Düngemittel ausgebracht werden (Amt der Wiener Landesregierung, 2000). Im Bereich des ÖPUL – Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft, gilt für Maßnahmen, wie der Biologischen Wirtschaftsweise, Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen sowie auf Ackerfutterflächen und Grünlandflächen, Siloverzicht und den Ökopunkten in Niederösterreich, ein generelles Ausbringungsverbot von Klärschlamm. Bei Maßnahmen wie der umweltgerechten Bewirtschaftung von Acker und Grünlandflächen, Mulch und Direktsaat, vorbeugender Boden- und Gewässerschutz, Untersaat beim Mais, etc. ist die Ausbringung von Klärschlamm hingegen erlaubt (Duscher, 2020).

Klärschlammausbringung in anderen Ländern

In der Schweiz beispielsweise war es üblich, dass man Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht hat, um im Sinne der Kreislaufwirtschaft auch den Menschen mit hinein zu bringen. Jedoch wurde die Klärschlammdüngung im Jahr 2006 wegen gesundheitlichen Bedenken verboten. Es wurde befürchtet, dass die enthaltenen Schadstoffe, wie Medikamente, Hormone und auch Schwermetalle, die Umwelt sowie den Menschen belasten könnten. Klärschlamm wird seither in der Schweiz verbrannt (BAFU, 2017). In Deutschland wurden im Jahr 2017 rund 309.800 Tonnen (TM) an Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden ausgebracht. Die Ausbringung von Klärschlamm auf Flächen des Gemüse- sowie Obstbau, auf Dauergrünlandflächen und in Wasserschutzgebieten ist in Deutschland nicht erlaubt. Wie auch in Österreich muss vor einer Ausbringung von Klärschlamm der Schadstoffgehalt des Bodens sowie des Klärschlammes ermittelt werden (BMU, 2020).

1.4.2. Düngemittelgesetz und Verordnung

Laut dem Düngemittelgesetz (BGBl. Nr. 513/1994) sind Dünger Stoffe, die der Pflanzenernährung dienen und deren Wachstum und Qualität verbessern sowie den Ertrag erhöhen. Dieses Gesetz wird vom Bund veranlasst. Es beinhaltet Regelungen über das Inverkehrbringen, Kennzeichnung und Verpackung, Schadstoffe und Toleranzen etc. (BGBl, 1994).

In der Düngemittelverordnung (BGBl. II Nr. 100/2004) von 2004 wurden Schwermetallfrachtenregelungen für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenschutzmittel festgelegt. In dieser Regelung sind maximale Aufwandsmengen auf landwirtschaftliche Nutzflächen angegeben. Diese dürfen nicht überschritten werden, ansonsten dürfen die Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenschutzmittel nicht in Verkehr gebracht werden (BGBl, 2004).

Schwermetall	g pro ha und Jahr
Blei	200
Cadmium	5
Chrom	300
Kupfer	350
Nickel	200
Quecksilber	5
Zink	1.500

Tab. 7: Schwermetallfrachtenregelung laut der Düngemittelverordnung (BGBl, 2004).

Laut der Düngemittelverordnung (2004) stellen Kupfer und Zink eine Ausnahme dar. Bei diesen Spurennährstoffdüngern dürfen die Werte maximal das Doppelte der oben dargestellten Frachten annehmen (BGBl, 2004).

1.5. Schwermetallproblematik und Auswirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze

Schwermetalle sind von Natur aus im Boden vorhanden und durch die Verwitterung des Gesteins werden sie langsam freigesetzt. Sie werden jedoch nicht nur durch die Verwitterung freigesetzt, sondern auch durch den Menschen in den Boden eingetragen. Schwermetalle können auf landwirtschaftlichen Böden durch die Industrie, Kraftfahrzeuge, Verbrennungsanlagen, Abfälle, Abwässer aber auch durch die Düngung sowie Pflanzenschutzmitteln eingetragen werden (Amelung et al., 2018). Kläranlagen dienen zur Reinigung des Wassers. Dies umfasst das Abwasser der Haushalte und Gewerbebetriebe sowie das Oberflächenwasser. Durch die Reinigung werden Stoffe herausgefiltert, welche dann im Klärschlamm enthalten sind. Dadurch kann es dazu führen, dass in diesem Bereich höhere Schwermetallgehalte anzutreffen sind. Neben Schwermetallen können Klärschlämme auch schwer abzubauen Verbindungen, Mikroplastik, pathogene Mikroorganismen sowie hormonell wirkende Substanzen beinhalten (BMK, 2021).

In den folgenden Absätzen werden einige Schwermetalle kurz aufgelistet.

Cadmium gilt für den Menschen als auch für Pflanzen sowie Tiere als nicht essentieller stark toxischer Stoff (Marschner und Marschner, 2012). Es wird durch Kraftwerke, Heizungen, Metallindustrie sowie über den Verkehr in die Umwelt abgegeben (Benavides et al., 2005). Weiters kann es auch durch Klärschlamm- sowie Phosphordüngemittel in den Boden eingebracht werden (Strumpf und Reichmuth, 2009). In der Natur kommt es meistens in Verbindungen mit Blei oder Zink vor (Benavides et al., 2005). In Pflanzen reichert sich das Schwermetall Cadmium vor allem im Bereich der Wurzeln sowie in den unteren Blättern an. Es kann jedoch auch in höhere Blattetagen transportiert werden (Strumpf und Reichmuth, 2009). Der Gesamtgehalt von Cadmium im Boden sagt nichts über die tatsächliche Pflanzenverfügbarkeit aus. Grundsätzlich führt ein höherer Tongehalt sowie höhere pH-Werte im Boden zu einer schlechteren Verfügbarkeit von Cadmium. Mit sinkenden pH-Wert nimmt daher die Verfügbarkeit für die Pflanzen zu. Im Vergleich zu anderen Schwermetallen ist die Beweglichkeit von Cadmium im Boden sowie auch in der Pflanze sehr hoch. Jedoch gibt es in der Pflanze eine sogenannte Transportbarriere, die dafür sorgt, dass der größte Teil des aufgenommenen Cadmiums in den Wurzeln bleibt, wodurch die Phytotoxizität geringer ist als die Zoo- sowie die Humantoxizität. Wobei hier auch pflanzenspezifische Unterschiede

auftreten (Schubert, 2011). Cadmium, welches hauptsächlich über Zigarettenrauch in den menschlichen Organismus gelangt, wirkt im Körper auf die Nieren, Knochen sowie das Fortpflanzungssystem (Rzymiski et al., 2015). Eine anhaltende Zufuhr mit diesem Schwermetall äußert sich durch einen Cadmiumsaum an den Zähnen, Nierenschäden sowie Atemwegserkrankungen (Reichel et al., 2009).

Das Schwermetall **Chrom** wird meist durch Regen in den Boden eingetragen oder aus dem Ausgangsgestein freigesetzt (Strumpf und Reichmuth 2009). Weitere Quellen für Chrom sind die Eisen- und Stahlindustrie, aber auch die Kohlefeuerungen sowie die Zement- und Glasindustrie spielen eine Rolle. Chrom kommt in unterschiedlichen Formen vor. So ist das dreiwertige Chrom ein essentielles Spurenelement, welches für Mensch und Tier wichtig ist, da es vor allem im Kohlenhydratstoffwechsel eine wichtige Rolle spielt. Hingegen sind sechswertige Chromverbindungen eher schlecht, da sie allergische und asthmatische Reaktionen hervorrufen sowie auch krebserregend sein können (Umweltbundesamt, 2007). Wird Chrom über die Nahrung aufgenommen, kann es zu Nierenschäden kommen (Reichel et al., 2009). Die Aufnahme von Chrom über die Wurzel ist relativ hoch. In der Pflanze reichert es sich vor allem im unteren Blattbereich an. Eine starke Anreicherung in der Pflanze führt zu geringeren Sprosswachstum, sowie absterben der Blätter (Bodenfachzentrum, 2019).

Blei, welches als nicht essentieller Stoff gilt, wird vor allem durch Immissionen bei Verbrennungsprozessen sowie durch Industriegebiete, welche bleihaltige Erze verarbeiten, freigesetzt (Strumpf und Reichmuth, 2009). Blei wird über die Nahrung oder der Atemluft vom Menschen aufgenommen (Elmadfa und Leitzmann, 2019). Für den Menschen hat Blei Auswirkungen auf das Nervensystem sowie auf das Herz. Ebenso kann es zu Schlaflosigkeit, Lähmungen und Koliken führen (Fuhrmann, 2006; Reichl et al., 2009). Weiters kann Blei, Enzyme im menschlichen Körper hemmen, was beispielsweise zu Gehirnschäden führen kann. Blei liegt im Oberboden sehr immobil vor und wird daher selten in tiefere Horizonte verlagert. Grund dafür ist, dass Blei sehr stark an die organische Substanz gebunden ist (Schubert, 2011). Die Pflanzenverfügbarkeit erhöht sich jedoch, wenn der pH-Wert im Boden unter 5,0 abfällt (Strumpf und Reichmuth, 2009). Wird dieses Schwermetall von der Pflanze aufgenommen setzt es sich meist in den Zellwänden der Wurzeln fest und gelangt auch nur schwer in die oberirdischen Bereiche der Pflanze, wodurch eine gewisse Barriere gegeben ist (Schubert, 2011).

Kobalt kommt meist nur in geringen Konzentrationen in der Natur vor. Häufig tritt es in den Oxidationsstufen +II und +III auf. Hingegen seltener in der Stufe +IV, und wenn, ist es meistens mit Nickel vergesellschaftet. In welcher Form das Kobalt vorliegt, ist sehr wichtig für die Wasserlöslichkeit des Metalls. Da zum Beispiel Cobaltsulfide oder -phosphate sehr schwach wasserlöslich sind. Hingegen Kobaltchloride oder -nitrate wiederum sehr gut. Im Bereich der

Pflanze sind noch keine speziellen Aufgaben als Nährelement bekannt. Weiters treten toxische Wirkungen eher selten auf und wenn, wirken sich diese nur durch die Verminderung der Wirkung von anderen essentiellen Spurenstoffen aus (Umweltbundesamt, 2007). Eine starke Anreicherung im menschlichen Körper ist kaum möglich, da eine erhöhte Aufnahme zu einer erhöhten Ausscheidung über den Harn führt. Ein Mangel an Kobalt, steht immer in Verbindung mit einem Vitamin B₁₂ Mangel, da Kobalt ein zentraler Bestandteil dieses Vitamins ist (Elmadfa und Leitzmann, 2019).

Hohe Konzentrationen an **Kupfer** findet man vor allem in der Nähe von Kupfererz verarbeiteten Betrieben. Weiters wird Kupfer auch in der Landwirtschaft, wegen seiner starken bioziden Wirkung, eingesetzt. Die am häufigsten genutzte Kupferverbindung ist Kupfersulfat. (Umweltbundesamt, 2007). Grundsätzlich hat Kupfer eine wichtige Aufgabe im Körper von Tier und Mensch, da es beispielweise eine essentielle Komponente von Metalloenzymen ist. Tritt beispielweise ein Kupfermangel auf, kann dies zur Veränderung der Haarstruktur führen, Verformungen am Skelett hervorrufen sowie auch zu Schäden am Nervensystem führen (Kirchgeßner et al., 2014). Kupfer erfüllt auch für Pflanzen eine wichtige Aufgabe und ist somit ein essentielles Spurenelement (Strumpf und Reichmuth, 2009). Kupfer schützt die Pflanzen vor oxidativen Stress und spielt auch im Stoffwechsel von Kohlenstoff und Stickstoff eine Rolle (Marschner und Marschner, 2012). Kupfer wird über die Wurzeln aufgenommen und von dort aus gleichmäßig in die gesamte Pflanze verteilt (Strumpf und Reichmuth, 2009). Kommt es zu einem Kupfermangel führt dies bei Pflanzen zu nekrotischen Schäden, Chlorosen, Welkeerscheinungen sowie ausgebleichenen jungen Blättern (Schubert, 2001; Marschner und Marschner, 2012). Hingegen kann eine Überversorgung an Kupfer zu einer Störung des Wurzelwachstums führen (Marschner und Marschner, 2012). Ebenso wie für die Pflanzen und Tiere, stellt Kupfer auch für den Menschen ein essentielles Spurenelement dar. Der tägliche Bedarf von Kupfer liegt bei 2 mg. Wird mehr als 10 g pro Tag aufgenommen, kann dies zu Vergiftungserscheinungen wie Erbrechen, Trägheit oder Gelbsucht führen. Bei einer längeren Überversorgung mit Kupfer kann es auch zu Leberschäden sowie Reizungen des Verdauungstraktes kommen (Reichl et al., 2009).

Ein weiteres Schwermetall ist **Nickel**, dieses Element dient ebenso als essentielles Spurenelement. Wie bereits bei den anderen Schwermetallen, ist die Hauptquelle für Nickel ebenso die Metallindustrie (Denkhaus und Salnikow, 2002). In der Pflanze dient das Element als Co-Faktor des Enzyms Urease. Dies ist vor allem für Dünger, die Harnstoff enthalten, sehr wichtig, da Urease den im Harnstoff enthaltenen Ammonium Stickstoff aufspaltet und dadurch verfügbar macht. Weiters spielt Nickel eine Rolle bei der N₂-Fixierung über die Rhizobium-Bakterien (Schubert, 2011). Ein Mangel an Nickel kann bei Pflanzen zu vermindertem Wachstum, Nekrosen, Chlorosen oder Deformationen führen. Pflanzen reagieren sehr sensibel

auf eine Überversorgung mit diesem Schwermetall, dies kann sich durch ein vermindertes Wachstum sowie einer verstärkten Harnstoffbildung in der Pflanze äußern (Marschner und Marschner, 2012).

Biochemisch gesehen zählt man die Schwermetalle zu den Spurenelementen. Sie liegen im Tiergewebe oder in der Pflanze mit einer Konzentration von rund 50 mg je kg TM bzw. Körpermasse vor (Kirchgeßner et al., 2014; Schubert, 2011). Schwermetalle wie Eisen, Mangan, Kupfer, Zink, Chrom, Nickel, Kobalt oder Molybdän werden zu den essentiellen Spurenelementen gezählt, da sie für Mensch, Tier und Pflanze physiologisch wichtig sind. Hingegen werden die Schwermetalle Quecksilber, Blei, Cadmium und Arsen als nicht essentiell angesehen und können somit eine gewisse Toxizität aufweisen. Es kann jedoch auch bei den essentiellen Spurenelementen im Falle einer Überversorgung zu negativen Folgen kommen (Schulze et al., 2002).

Schwermetalle werden im Boden aber z.B. auch im Klärschlamm an die funktionellen Gruppen der Huminstoffe gebunden, dabei kommt es zu einer unterschiedlichen Bindungsstärke. Das bedeutet, desto mehr Schwermetalle an das Substrat schon gebunden sind, desto kleiner ist die Bindungsstärke. Daher ist zu sagen, dass bei einer geringen Sättigung im Boden die Konzentration von Schwermetallen nur leicht steigt. Wurde hingegen die Grenze erreicht, so steigt die Konzentration in der Bodenlösung sehr stark an, da das Substrat keine weiteren Metallionen aufnehmen kann. Weisen Metalle, wie beispielsweise Blei, eine hohe Affinität auf, so werden sie bevorzugt an das Substrat gebunden. Hingegen haben Zink, Nickel oder Cadmium eine geringere Affinität. Das bedeutet, dass diese Metalle leichter verdrängt werden können und somit in Lösung gehen (Stichler et al., 1987). Laut dem Versuch von Stichler et al. (1987) mit Spinat, wurde festgestellt, dass wenn Blei und Cadmium in gleicher Konzentration vorliegen, der Spinat umso mehr Cadmium aufnimmt, desto höher die Gehalte an Blei im Boden sind. Daher ist es von Vorteil, wenn man sich nicht nur die Schwermetallgehalte, sondern auch die Sättigungs- sowie Löslichkeitsgrade ansieht (Stichler, et al., 1987). Die Löslichkeit der Schwermetalle hängt zusätzlich auch noch vom pH-Wert ab. Beispielsweise nimmt die Löslichkeit der Metalle Cadmium oder Zink stark zu, wenn der pH-Wert von 7 auf 3 absinkt. Ein Grund dafür könnte sein, dass die organische Substanz im sauren Bereich eine stärkere Schwermetallfixierung ausübt, als die mineralischen Bodenkomponenten (Dües, 1987). Weitere Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit können auch die Temperatur, Bodentextur, Kationenaustauschkapazität sowie Mikroorganismen sein. Neben diesen Bodenfaktoren, hängt die Pflanzenverfügbarkeit auch von der kultivierten Pflanze sowie deren Transpirationsrate ab (Gupta et al., 2019).

Futtermittel

„Zur Tierernährung bestimmte Erzeugnisse können unerwünschte Stoffe enthalten, die der Gesundheit der Tiergesundheit oder – wegen ihres Vorhandenseins in tierischen Erzeugnissen – der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt abträglich sein könnten“ (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002).

Da man unerwünschte Stoffe in Futtermittel, Zusatzstoffen und Vormischungen nie ganz ausschließen kann, gibt es für unerwünschte Elemente wie Fluor (F), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) sowie Quecksilber (Hg) Höchstgehalte. Die genaue Regelung dieser Stoffe findet man in der Richtlinie 2002/32/EG (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002).

In der Tabelle 8 können die Höchstgehalte an Schwermetallen für die einzelnen Futtermittel angelesen werden. Die Gehalte, welche in der Tabelle 8 angegeben sind, beziehen sich auf mg/kg Futtermittel.

	Arsen	Blei	Quecksilber	Cadmium
Alleinfuttermittel	2	5	0,1	1
o) Grünfutter		40		
Ergänzungsfuttermittel	4	10	0,2	0,5
Mineralfuttermittel	12	30	-	5

Tab. 8: Höchstgehalte an Schwermetallen in Futtermitteln in mg/kg (Richtlinie 2002/32/EG).

Lebensmittel

Seit dem Jahr 2006 gibt es eine EU-Verordnung (EG Nr. 1831/2003), die versucht das in Verkehr bringen von kontaminierten Lebensmitteln zu verhindern. Dies erfolgt durch die Festlegung von Höchstgehalten an Kontaminanten in Lebensmittel. Ziel ist es, die Gesundheit der Menschen sicherzustellen. Die Verordnung schreibt fest, dass die Höchstgehalte so niedrig festzulegen sind, wie dies beispielweise bei einer guten Landwirtschaft-, Fischerei- oder bei der Herstellung üblicherweise erreichbar ist, natürlich unter Berücksichtigung eines gewissen Risikos. Weiters sollte zum Schutz der Gesundheit von gefährdeten Bevölkerungsgruppen, Säuglingen sowie Kleinkinder, die niedrigsten Höchstgehalte festgesetzt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte eine strenge Auswahl der Rohstoffe für die Herstellung solcher Produkte erfolgen. Die Verordnung schreibt auch fest, dass Lebensmittel, welche einen erhöhten Gehalt an Kontaminanten, der über die Höchstgehalte hinausgehen, aufweist, nicht in Verkehr gebracht werden dürfen. Auch dann nicht, wenn diese mit anderen Lebensmitteln vermischt werden. Weiters dürfen Lebensmittel, bei denen eine Behandlung, wie etwa eine Sortierung oder physikalische Behandlung zur Reduktion des

unerwünschten Stoffes durchgeführt wurde, nicht mit anderen Lebensmitteln vermischt werden (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006).

Wie auch bereits in der Düngemittelverordnung oder im Futtermittelgesetz, gibt es auch hier Vorgaben für Höchstgehalt von Blei, Cadmium sowie Quecksilber. Diese Werte werden durch den PTWI (Provisional tolerable weekly intake) beschrieben. Beispielsweise wurde für Blei die tolerierbare wöchentliche Menge bei 25 µg/kg Körpergewicht festgelegt. Ebenso gibt es für Cadmium einen Höchstgehalt, der bei 7µg/kg Körpergewicht liegt. Vor allem dieser Höchstgehalt ist sehr wichtig, da die Hauptaufnahmequelle für Cadmium die Nahrung ist. Der Grenzwert für Quecksilber liegt bei 1,6 µg/kg Körpergewicht (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006).

Neben den wöchentlich tolerierbaren Mengen, gibt es auch noch Höchstgehalte für die einzelnen Lebensmittel selbst. So darf beispielsweise Rohmilch lediglich 0,02 mg Blei pro kg Frischmasse aufweisen. Bezogen auf Fleisch von Rindern, Schafen, Schweinen und Geflügel, liegen die Höchstgehalte für Blei bei 0,10 mg/kg Frischmasse (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006). Weitere Höchstgehalte werden in der folgenden Tabelle 9 angeführt.

Lebensmittel	Blei	Cadmium	Quecksilber	Zinn
Rohmilch	0,02 mg/kg FM	-	-	-
Fleisch	0,10 mg/kg FM	0,050 mg/kg FM	-	-
Muskelfleisch von Fischen und Fischereierzeugnisse	0,30 mg/kg FM	0,050 mg/kg FM	0,50 mg/kg FM	-
Getreide	0,20 mg/kg FM	0,10 mg/kg FM	-	-
Hülsenfrüchte und Hülsengemüse	0,20 mg/kg FM	-	-	-
Blattgemüse	0,30 mg/kg FM	0,20 mg/kg FM	-	-
Früchte	0,10 mg/kg FM	0,050 mg/kg FM	-	-
Lebensmittelkonserven	-	-	-	200 mg/kg FM
Dosenge tränke	-	-	-	100 mg/kg FM

Tab. 9.: Höchstgehalte verschiedener Lebensmittel (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006).

Die Gehalte von Quecksilber spielen vorwiegend in Fischen und Meeresfrüchten eine bedeutende Rolle. Hingegen hat Quecksilber bei anderen Lebensmitteln eine eher geringere Bedeutung (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006).

Zinn spielt vor allem bei Lebensmittel eine Rolle, die in Dosen oder Konserven abgepackt werden. Hierbei gibt es keine PTWI (Provisional tolerable weekly intake) Werte, sondern nur Höchstgehalte für die Lebensmittel selbst. Jedoch ist bekannt, dass Gehalte an anorganischem Zinn von 150 mg/kg in Dosengetränken sowie Gehalte von etwa 250 mg/kg in Konserven zu Magen-Darm Reizungen führen können (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006).

1.6. Fragestellung

Folgende Fragestellungen wurden zum Thema „Auswirkungen einer langjährigen Klärschlamm und Bioabfallkompostdüngung auf den Schwermetallgehalt von Feldfutter“ in der vorliegenden Masterarbeit bearbeitet:

- Wie wirken sich die Bioabfallkompost- und Klärschlammkompostvariante in der Nachwirkung auf die TM-Erträge, Rohprotein-Erträge sowie Fruchtbarkeit aus?
- Ist eine Akkumulation von Schwermetallen im Boden zu erkennen nach einer langjährigen Düngung mit Klärschlamm- und Bioabfallkompost?
- Werden bedenkliche Schwermetallgehalte im Erntegut festgestellt nach einer langjährigen Düngung mit Klärschlammkompost und Bioabfallkompost?
- Stellt das Erntegut des Nachwirkungsversuchs eine Gefahr bei der Fütterung hinsichtlich der Schwermetallgehalte dar?
- Ist der Schwermetallgehalt des Futters niedriger in den Vergleichsvarianten (Ungedüngt, Stallmistkompost, NPK) gegen über der Klärschlamm- und Bioabfallkompostvariante?

2. Material und Methoden

2.1. Standort, Klima und Boden

Die Versuchsflächen, die in diese Arbeit behandelt werden, befinden sich in der Gemeinde Bärnbach im Bezirk Voitsberg, in der Steiermark. Der vorgelagerte Silomaismonokulturversuch wurde im Jahr 1994 angelegt. Die zweite Versuchsfläche des Fruchtfolgeversuchs wurde etwas später im Jahr 2002 angelegt. Der Standort liegt in etwa auf 483m Seehöhe. Die Region rund um die Versuchsfläche weist eine jährliche Niederschlagsmenge von 938 mm auf und einer durchschnittlichen Temperatur von 8,2 °C. Bezogen auf das Klima befindet sich die Versuchsfläche in einer Übergangslage zwischen illyrisch und baltisch beeinflussten Klima. Die Nährstoffgehalte im Boden liegen in einem guten Bereich und Schwermetalle treten nur gering auf.

Im Jahr 2001 wurden die Böden analysiert. Dabei ergaben sich ein pH-Wert von 6,7 sowie ein Humusgehalt von etwa 3,3 %. Weiters wurde das Bodenprofil der leicht krumenpseudovergleytn Braunerde bestimmt. Das Bodenprofil wurde bis zu einer Tiefe von 100 cm aufgegraben. Diese gliedert sich in Ap (0-20 cm), AB (20-56 cm) und B (>56 cm).

2.2. Versuchsanlagen

Fruchtfolgeversuch in Bärnbach

Die Versuchsanlage in Bärnbach besteht aus sechs Blöcken (wie in Abbildung 3 gezeigt wird) auf der jeweils eine Kulturart angebaut wird. Die Kulturen wurden in einer sechsjährigen Fruchtfolge angebaut. Dabei ergab sich folgende Fruchtfolge:

Winterweizen → Winterraps → Ölkürbis → Kartoffel → Sommergerste → Gemüse/Kräuter

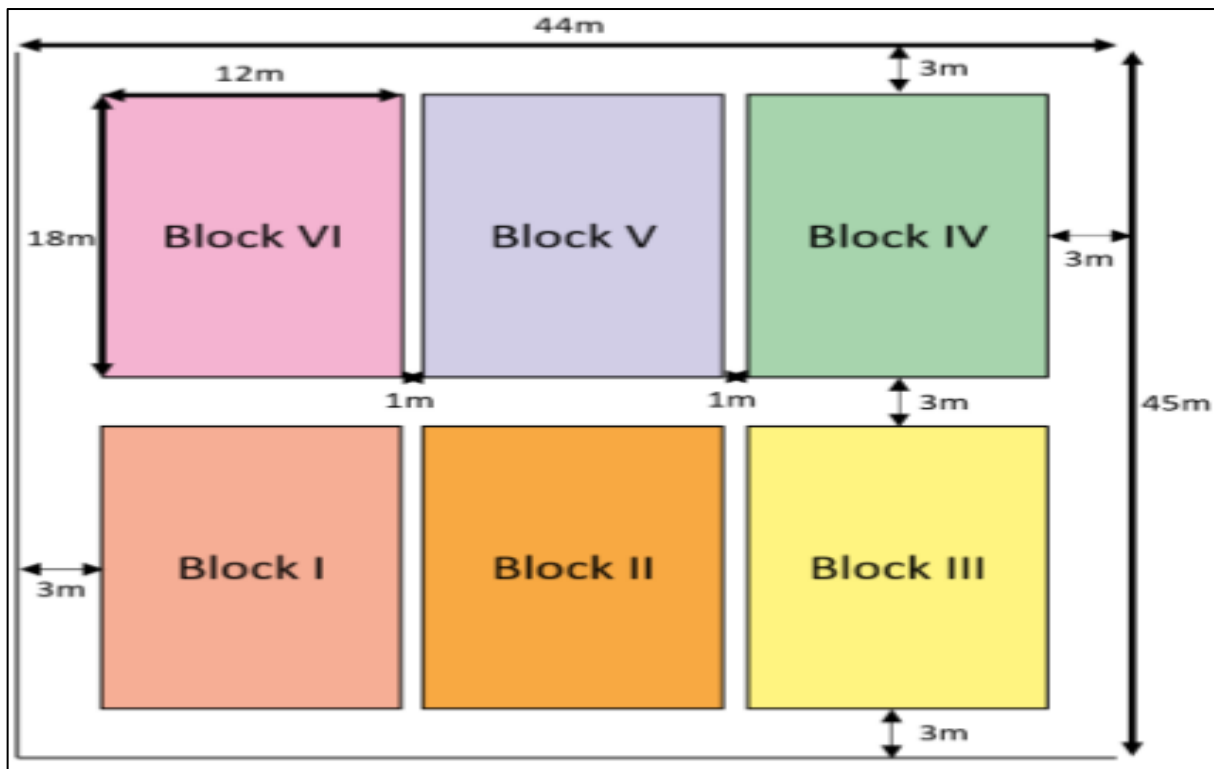


Abb. 3: Aufteilung der Blöcke auf der Versuchsanlage in Bärnbach.

Jeder einzelne Block unterteilt sich noch einmal in fünf Varianten mit je vier Wiederholungen (a-d). Dadurch ergeben sich für jeden Block genau 20 Parzellen.

Weiters wurde in jedem Block eine gewisse Düngevariante angewendet, welche nur in diese Parzelle über all die Jahre hinweg durchgeführt wurde. Lediglich die Kulturen wechselten, nicht jedoch die Düngevarianten. Sorte sowie auch die Kulturführung (Anbau, Unkrautbekämpfung, Ernte, Aufbereitung, etc.) wurden bei allen Parzellen gleich durchgeführt. In der folgenden Abbildung 4 ist ein Plan für einen einzelnen Block zu erkennen.

4d	3d	1d	5d	2d
5c	1c	4c	2c	3c
3b	5b	2b	1b	4b
1a	2a	3a	4a	5a

Parzellengröße: $2,4 \times 4,45 = 10,68 \text{ m}^2$

Legende:

- Düngevarianten: 1 – 5
- Wiederholungen: a - d

Abb. 4: Blockübersicht, auf der Versuchsfläche in Bärnbach.

Silomaismonokultur Versuch in Bärnbach

Weiters wurde im Jahr 1994 in Bärnbach ein Silomaismonokultur Versuch, mit einer sechsfachen Wiederholung, angelegt. Dieser Versuch befindet sich ebenfalls am gleichen Standort wie der Fruchtfolgeversuch. Die einzelnen Parzellen in diesem Versuch haben eine Größe von 2,80 mal 13,00 m, dies ergibt eine Fläche von 36,40m². In der Abbildung 5 ist der Versuchsaufbau für den Silomaismonokulturversuch schematisch dargestellt.

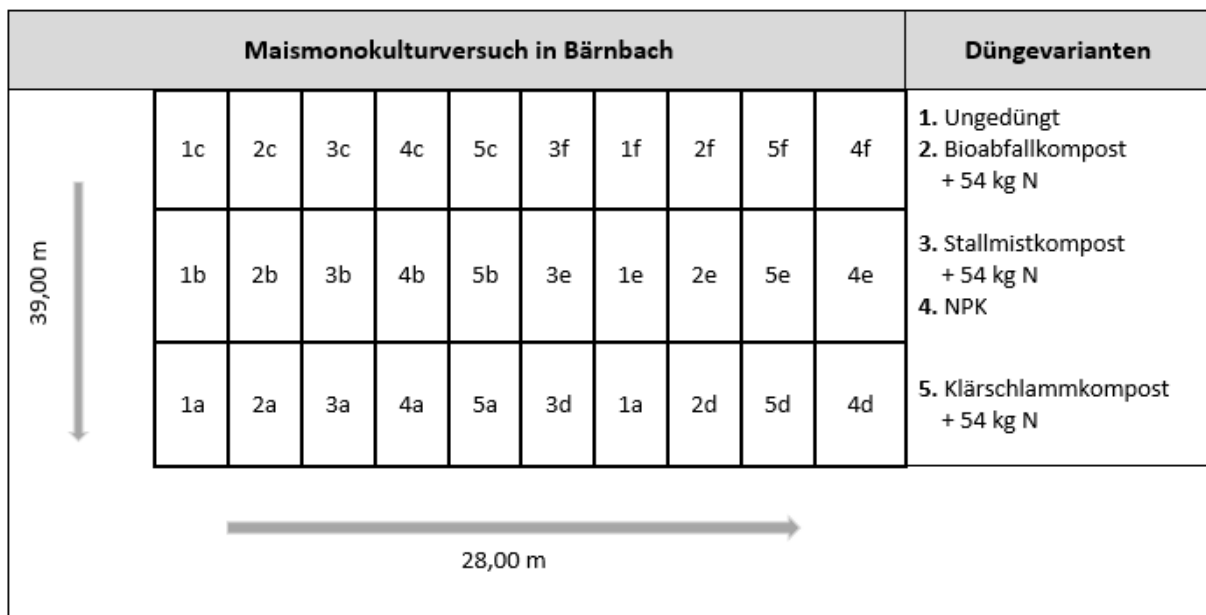


Abb. 5: Versuchsplan des Silomaismonokultur Versuchen in Bärnbach im Jahr 1995.

2.3. Bodenbeprobung

Die Analyse der Böden (Nährstoffe, Schwermetalle, pH-Wert, bodenphysikalische Parameter) wurden im Labor der AGES der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit durchgeführt. Bodenproben wurden im Jahr 2001 sowie am Ende des Versuches (2018) durchgeführt. Dabei wurde für jeden Block und jeder Düngevariante eine Mischprobe erstellt.

2.4. Düngung

Wie bereits oben erwähnt, gab es im Fruchtfolge- und Silomaismonokulturversuch fünf Düngevarianten.

- 1 Variante: Ungedüngt
- 2 Variante: Bioabfallkompost
- 3 Variante: Stallmistkompost
- 4 Variante: Mineralische Düngung (NPK)
- 5 Variante: Klärschlammkompost

In jener Parzelle, in der keine Düngung stattfand, wurden dennoch Pflanzen angepflanzt und geerntet. Nur bei den Kulturen, wie der Kartoffel und dem Kürbis, wurden die Ernterückstände (Kraut) mit dem Pflug eingearbeitet. Im Bereich des Bioabfallkompostes wurden jährlich je nach Kulturart rund sieben bis fünfzehn Tonnen (FM) ausgebracht. Dieser wurde fallweise je nach Kulturart durch einen mineralischen Dünger ergänzt. Die Firma Saubermacher stellte den Bioabfallkompost, welche sich zu 75 % aus Bioabfällen, 20 % aus Garten- und Parkabfällen und aus 5 % getrennt gesammelten pflanzlichen Abfällen zusammensetzte, zur Verfügung. Der Stallmistkompost (strohreicher Rindermist) wurde von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bereitgestellt. Es wurden rund zehn bis 20 Tonnen des Stallmistkompostes jährlich je nach Kulturart auf die Versuchsflächen ausgebracht. Diese wurde durch eine mineralische Düngung ergänzt. Diese erfolgte entweder durch eine NPK- oder eine reine N-Düngung. Die letzte Düngungsart stellt die Klärschlammkompostvariante dar. Diese wurde von der Firma UMS (Umweltschutz mit System Dienstleistungs- und Handelsgesellschaft mit beschränkter Haftung) bereitgestellt. Auch hier wurden in etwa sieben bis fünfzehn Tonnen Frischmasse jährlich auf die Flächen aufgebracht, sowie optional mit einer mineralischen Düngung oder Kalkgabe ergänzt.

2.5. Versuch „Nachwirkung auf das Klee gras“

Ab dem Jahr 2019 wurde auf allen Versuchsflächen in Bärnbach die Feldfuttermischung IR in ÖAG Qualität angebaut. Dabei wurden rund 25 kg/ha ausgebracht. Die bisherige Düngung wurde zur Gänze eingestellt und keine der Flächen wurde daher ab diesem Zeitpunkt mehr gedüngt. Dies diente dem Zweck, dass die Nachwirkungen des vorgelagerten Düngungsversuchs durch eine andere Düngungsart nicht verzehrt werden. Die Versuchsfläche wurde drei Mal abgeerntet und im Labor an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein untersucht. Dabei wurde die Weender Futtermittelanalyse, Mengen- und Spurenelemente sowie wie Schwermetallgehalte analysiert.

In der folgenden Abbildung 6 ist die Versuchsfläche im Sommer 2019 zu erkennen. Im vorderen Bereich befindet sich die Silomaismonokulturversuchsfläche und im hinteren Bereich sind die sechs Blöcke des Fruchtfolgeversuchs zu sehen.



Abb. 6: Nachwirkungsversuchsfläche, im Jahr 2019 in Bärnbach.

2.6. Datenauswertung

Die Frischmasseerträge beim Versuch „Nachwirkung auf das Klee gras“ wurden im Jahr 2019 auf jeder Parzelle erhoben. Dies wurde durch Mitarbeiter der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Anschließend wurde der Trockenmassegehalt mittels eines Trocknungsverfahren ermittelt. Neben der Ermittlung des Ertrages, wurden auch noch Inhaltstoffe, Mengenelemente, Spurenelemente sowie Schwermetalle analysiert. Diese Untersuchungen wurden im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Die erhobenen Daten wurden anschließend mit einem Statistik Programm (R Studio) ausgewertet und grafisch dargestellt. Die Daten wurden zuerst mit dem Shapiro Test auf ihre Normalverteilung getestet. Bei jenen Fraktionen, welche keine Normalverteilung aufwiesen, wurde ein Kruskal-Wallis-Test angewendet. Wenn eine Normalverteilung vorlag, wurde eine ANOVA zur Ermittlung der Unterschiede angewendet. Lag ein Unterschied vor, so wurde ein Tukey-Test für die Ermittlung der signifikanten Unterschiede zwischen den fünf Düngevarianten herangezogen.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Ergebnisse der Bodenbeprobung auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs

Wie bereits im Kapitel 2. Material und Methoden erwähnt, wurden im Jahr 2001 sowie am Ende des Fruchtfolgeversuches im Jahr 2018 Bodenproben analysiert. Hierbei wurde ein Vergleich zwischen den Jahren 2001 und 2018 aufgestellt, um zu sehen, ob sich eine Akkumulation der Schwermetalle zeigt. Dabei sind die Schwermetalle Arsen (As), Kobalt (Co), Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Molybdän (Mo), Nickel (Ni) und Blei (Pb) untersucht worden. Die Mittelwerte der Veränderung, welche in dieser Untersuchung erhalten wurden, werden in der folgenden Tabelle 10 angegeben.

Mittelwerte der Veränderung der Schwermetallgehalte (in mg/ 1.000g Feinboden)								
	Cu	As	Cd	Co	Hg	Mo	Ni	Pb
1 ungedüngt	1,33	1,57 [✱]	0,070 [✱]	0,518	0,073	-0,176 [✱]	5,11 [✱]	2,58
2 Bioabfall- kompost	2,71	1,32	0,05 [✱]	0,535	0,0183	-0,132 [✱]	5,60 [✱]	2,46
3 Stallmistkompost	1,53	1,8 [✱]	0,052 [✱]	0,548	0,005	-0,150 [✱]	5,68 [✱]	3,20
4 NPK	1,65	1,16	0,06 [✱]	0,463	0,040	-0,127 [✱]	5,01 [✱]	2,50
5 Klärschlamm- kompost	4,14 [✱]	1,59 [✱]	0,058 [✱]	0,662	0,028	-0,143 [✱]	6,41 [✱]	9,13 [✱]

Tab. 10: Mittelwerte der Veränderung der Schwermetallgehalte im Boden im Zeitraum von 2001 bis 2018.

In der Tabelle 10 ist deutlich zu sehen, dass bei allen Schwermetallen über die Düngung von 17 Jahren ein Anstieg zu verzeichnen ist. Eine Ausnahme stellt Molybdän dar. Hier ist zu erkennen, dass die Gehalte in allen Varianten sinken. Eine Erklärung für dieses Absinken über die Jahre hinweg könnte sein, dass Molybdän einen wichtigen Cofaktor für Enzyme des N-Stoffwechsels in der Pflanze darstellt (Schubert, 2011). Daher wird es von der Pflanze vom Boden aufgenommen, was wiederum zu dieser Verringerung führt.

All jene Werte, die mit jenem Symbol [✱] gekennzeichnet sind, weisen einen signifikanten Unterschied zwischen den Jahren 2001 und 2018 auf. Hierbei wurde ein Signifikanzniveau von 0,05 angenommen.

Vergleicht man die Werte der Bodenanalyse mit den Grenzwerten für Böden (Steirische Klärschlammverordnung), so kann man erkennen, dass sich alle Werte unter dieser Grenze befinden. Für diesen Versuch werden die Grenzwerte der Steiermark herangezogen, da sich die Versuchsflächen in diesem Bundesland befinden.

Durchschnittlich liegen die Kupfergehalte in der Variante 5 im Jahr 2001 bei 49,33 mg/1000 g. In den anderen Varianten befinden sich die Werte in etwa im gleichen Bereich. Der Grenzwert für Kupfer im Boden liegt in der Steiermark bei 60 mg/kg. Daraus lässt sich schließen, dass die Gehalte am Beginn des Versuches in den Versuchsboden im Bereich von Kupfer rund 17 % unter dem Grenzwert lagen. Im Jahr 2018 liegt der Wert von Kupfer in der Variante 5 durchschnittlich bei 53,47 mg/1000 g. Nachdem 17 Jahre lang Klärschlammkompost auf die Fläche aufgebracht wurde, hat sich der Wert im Durchschnitt um 4,14 mg/1000 g erhöht. Was immer noch unter der Grenze liegt, genauer gesagt 10 % unter dem Grenzwert von 60 mg/kg.

Im Bereich des Schwermetalls Blei kam es vor allem in der Variante 5 zu einer höheren Akkumulation (+9,13 mg/1000 g) als in den anderen Varianten. Stellt man den durchschnittlichen Wert der Variante 5 (41,13 mg/1000 g) im Jahr 2018 mit dem Grenzwert von 100 mg/kg im Boden gegenüber, lässt sich erkennen, dass die Bodengehalte unter der Grenze liegen. Genauer gesagt liegt dieser Wert um 58 % unter dem Grenzwert der Steiermark.

Die weiteren Werte der Bodenanalyse für die Jahre 2001 und 2018 befinden sich im Anhang.

Schwermetallgrenzwerte für Böden in der Steiermark:

- Kupfer: 60 mg/kg
- Blei: 100 mg/kg
- Nickel: 60 mg/kg
- Cadmium: 0,5 mg/kg
- Quecksilber: 0,5 mg/kg

Rechnet man die Werte (mg/kg) auf kg/ha um, erhält man durchschnittlich in der Variante 1 im Jahr 2001 rund 151 kg Kupfer pro ha. Das wären ca. 0,00505 % Kupfer pro ha. 17 Jahre später, im Jahr 2018, ergibt sich ein Gehalt von 155 kg/ha. In Prozent ausgedrückt sind das 0,005183 %. Beispielsweise bei Quecksilber ergibt sich bei der Variante 1 im Jahr 2001 ein durchschnittlicher Quecksilbergehalt von 0,65 kg pro ha. Auch hier wurde dieser Wert wieder in Prozent umgerechnet (=0,000021667 % Hg pro ha). Vergleicht man diesen Wert mit den Gehalten von 2018 (0,87 kg/ha und 0,000029 % Hg pro ha) so sieht man, dass es lediglich zu einem Anstieg von 0,00000733 % pro ha kam.

Für die Berechnung der Gehalte in kg/ha wurde eine mittlere Lagerungsdichte des Bodens mit rund 1,5 g/cm³ angenommen (Krahmer et al., 1995).

Schlussendlich kann gesagt werden, dass bezogen auf den Boden zwar ein Anstieg in der einzelnen Fraktion über die Jahre hinweg zu verzeichnen ist, diese jedoch bei allen Schwermetallen unter den Grenzwerten der Steiermark liegen.

3.2. Ergebnisse des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs

3.2.1. TM-Erträge beim ersten Aufwuchs

Im Jahr 2019 wurde erstmals Klee gras auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs angebaut. Hierbei wurden auch die Erträge der einzelnen Blöcke festgestellt. In der folgenden Abbildung 7 können die einzelnen TM-Erträge im Jahr 2019 beim ersten Aufwuchs in den Blöcken bei den verschiedenen Düngevarianten abgelesen werden.

Die einzelnen Düngevarianten sind:

- 1 = ungedüngt
- 2 = Bioabfallkompost
- 3 = Stallmistkompost
- 4 = NPK
- 5 = Klärschlammkompost

Bei diesem Versuch (Nachwirkungen auf das Klee gras) erhielt das Klee grasfutter auf keiner der Blöcke eine Düngung in irgendeiner Form. Es werden lediglich die Nachwirkungen der Düngevarianten des vorgelagerten Fruchtfolgeversuchs aufgezeigt.

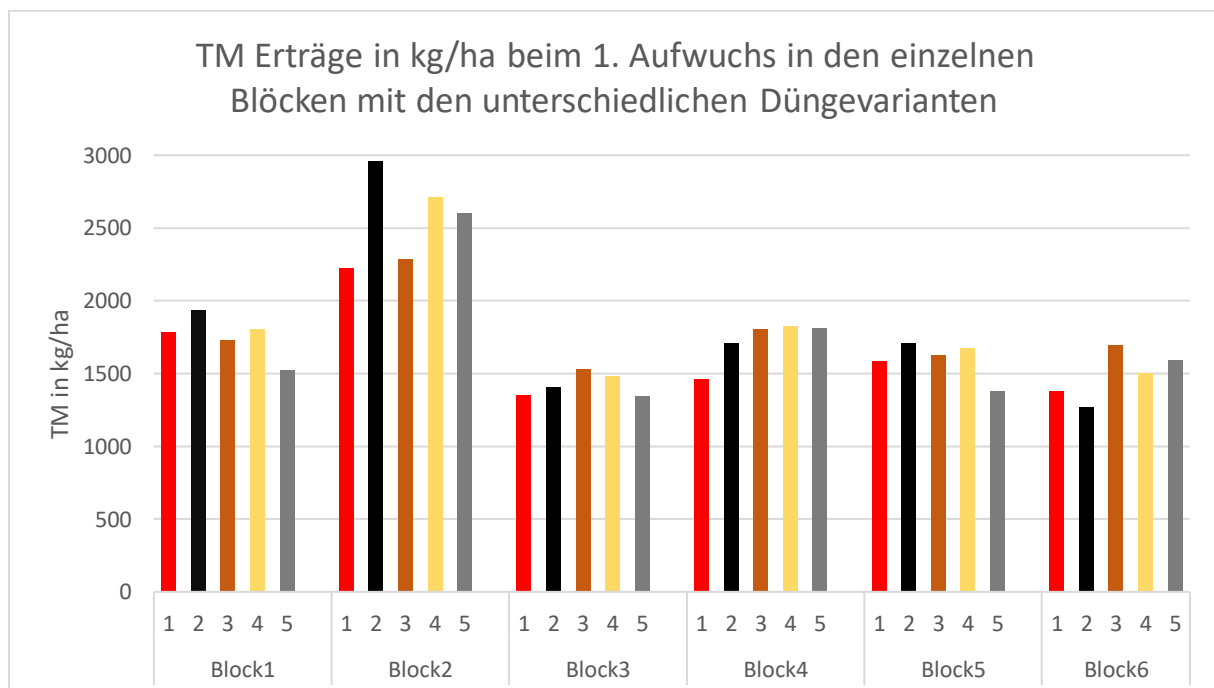


Abb. 7: TM Erträge des ersten Aufwuchses, in kg TM pro ha in den einzelnen Blöcken bei den verschiedenen Düngevarianten, im Jahr 2019 am Fruchtfolgeversuch in Bärnbach.

Vergleicht man die TM Erträge von diesem Versuch mit durchschnittlichen Erträgen des Feldfutterbaus, so lässt sich erkennen, dass die TM Erträge des ersten Aufwuchs in diesem Versuch in einem Bereich liegen, der den üblichen TM Erträgen entspricht.

In der folgenden Abbildung 8 sind die unterschiedlichen TM Erträge in kg/ha bei den verschiedenen Düngevarianten zu sehen. Hierbei sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten zu erkennen.

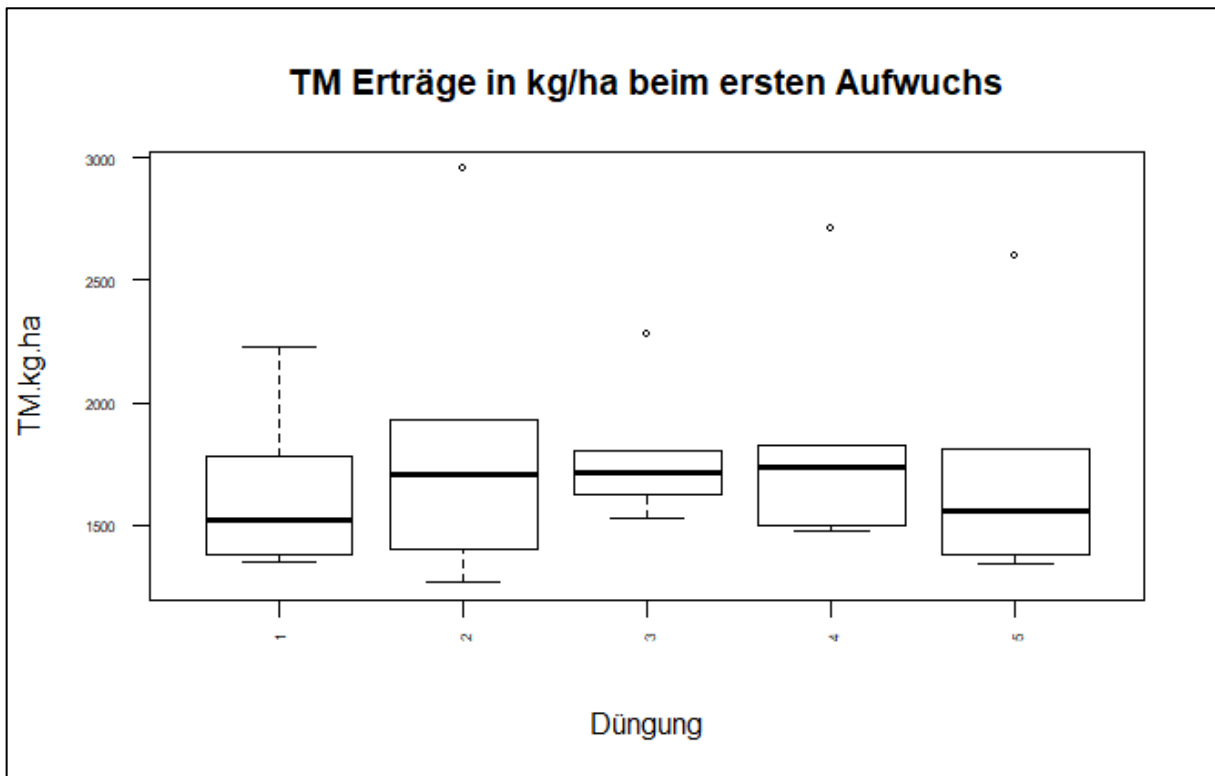


Abb. 8: Unterschiedliche TM Erträge in kg/ha in den einzelnen Düngevarianten, beim Kleeversuch als Nachwirkung vom Fruchtfolgeversuch im Jahr 2019 in Bärnbach

- Ungedüngt: 1.630 kg/ha TM ^a
- Bioabfallkompost: 1.829 kg/ha TM ^a
- Stallmistkompost: 1.778 kg ha TM ^a
- NPK: 1.833 kg/ha TM ^a
- Klärschlammkompost: 1.708 kg/ha TM ^a

Weist die Gruppenzugehörigkeit den gleichen Buchstaben auf, so bedeutet das, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Düngevarianten gibt. Im Falle der TM Erträge des Kleeversuchs beim ersten Aufwuchs in den unterschiedlichen Düngevarianten, weisen alle den gleichen Buchstaben (=a) auf. Es wird hier von einem Signifikanzniveau von 0,05 ausgegangen. Auch die ungedüngte Variante zeigt beim ersten Aufwuchs des Kleeversuchs ähnliche Erträge, wie die bereits über Jahre gedüngten Varianten. Dadurch lässt sich erkennen, welch hohes Potential im Boden steckt.

Sieht man sich jedoch die einzelnen Blöcke genauer an, so kann man erkennen, dass es vor allem im Block 2 einen signifikanten Unterschied gegenüber den anderen Blöcken gibt. Hierbei wird wieder von einem Signifikanzniveau von 0,05 ausgegangen.

Die mittleren TM-Erträge in kg/ha in den einzelnen Blöcken:

- Block 1: 1.755 kg/ha TM ^b
- Block 2: 2.555 kg/ha TM ^a
- Block 3: 1.421 kg/ha TM ^b
- Block 4: 1.722 kg/ha TM ^b
- Block 5: 1.593 kg/ha TM ^b
- Block 6: 1.487 kg/ha TM ^b

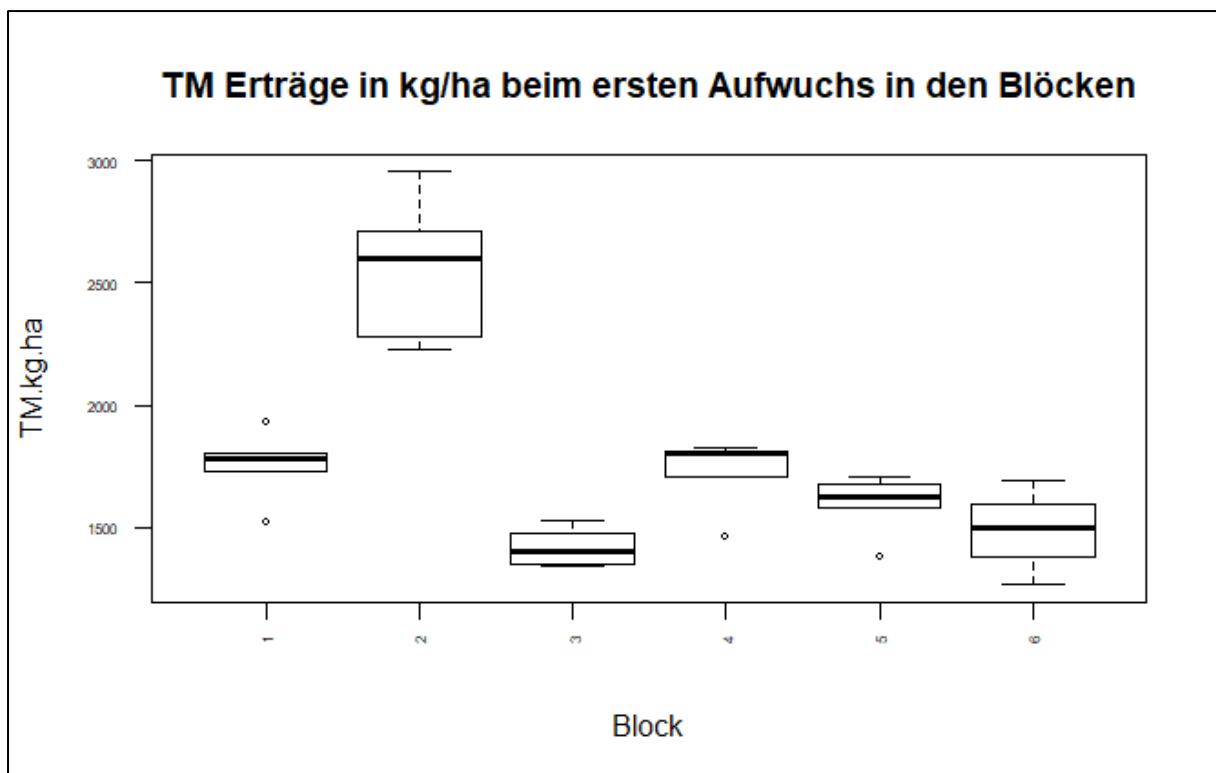


Abb. 9: TM Erträge in den verschiedenen Blöcken, beim ersten Aufwuchs des Klee grasversuch im Jahr 2019 auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach.

Der signifikante Unterschied des Blocks 2 gegenüber den anderen Blöcken, lässt sich dadurch interpretieren, dass im Jahr 2018 in diesem Block Gemüse als Vorfrucht angebaut wurde, genauer gesagt Linsen. Diese Vorfrucht erhielt in der Düngevariante 2 in etwa 7 Tonnen Bioabfallkompost. Das entspricht einer Nährstoffzufuhr von 33 kg N pro ha, 5 kg P₂O₅ pro ha und 12 kg K₂O pro ha. In der Düngevariante 3 wurden 10 Tonnen Stallmistkompost ausgebracht. Hier liegt die Nährstoffzufuhr bei 50 kg N pro ha, 7 kg P₂O₅ pro ha und 68 kg K₂O pro ha. In der Variante 4 wurde NPK (=400 Linzer Star) ausgebracht, der in der Fraktion N genau 60 kg/ha zugeführt hat, bei P₂O₅ lagen wir bei 26 kg/ha und für K₂O bei 50 kg/ha. Rund

7 Tonnen Klärschlammkompost wurden in der letzten Variante 5 ausgebracht. Die Nährstoffzufuhr lag hier bei 50 kg N pro ha, 24 kg P₂O₅ pro ha sowie 21 kg K₂O pro ha. In der Düngevariante 1 ist, wie bereits in den letzten Jahren, keine Düngung erfolgt. Weiters ist noch zu erwähnen, dass Linsen zu den Leguminosen zählen. Diese Symbiose zwischen Leguminosen und Rhizobien führt auch beim Klee gras zu einer guten Versorgung mit Stickstoff, da es über die sogenannten Knöllchenbakterien zu einer N₂-Fixierung kommt. Die gute Versorgung mit Stickstoff über die Düngung sowie über die Knöllchenbakterien der Linsen spiegelt sich im TM-Ertrag des Blocks der Nr. 2 wider.

3.2.2. Inhaltsstoffe des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs

Es stellt sich im Zuge dieser Arbeit auch die Frage, wie sich die einzelnen Düngevarianten auf die Inhaltsstoffe und Mengen- bzw. Spurenelemente, insbesondere aber auch auf die Schwermetallgehalte des Feldfutters in der Nachwirkung, auswirken. Besonders bedeutend sind hierbei die Schwermetallgehalte. Im folgenden Unterkapitel werden die einzelnen Inhaltsstoffe näher beleuchtet.

3.2.2.1. Weender Futtermittelanalyse

Bezogen auf die **Rohproteingehalte** wurden zwischen den fünf verschiedenen Düngevarianten im ersten Aufwuchs des Klee grasfutters keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Der p-Wert zeigt einen Wert von 0,853, was wiederum bedeutet das kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten besteht. Die durchschnittlich höchsten Rohproteingehalte wurden in der Variante 5 mit 181,05 g/kg TM ermittelt.

- Ungedüngt: 177 g/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 168 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 175 g/kg TM ^a
- NPK: 174 g/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 181 g/kg TM ^a

Stellt man die durchschnittlichen Werte in den einzelnen Düngevarianten der ÖAG Futterwerttabelle (2017) gegenüber, so lässt sich erkennen, dass die Rohproteingehalte sehr gut sind. Laut der Futterwerttabelle sollte der Rohproteingehalt des Klee grasheus beim ersten Aufwuchs bei ca. 130 g/kg TM liegen (Resch et al., 2017). In diesem Versuch liegen die mittleren Gehalte zwischen 168 und 181 g/kg TM. Ebenso ist zu erwähnen, dass die Ungedüngte Variante, wegen ihres hohen Kleeanteils, gegenüber den anderen Varianten auch sehr gute Ergebnisse erzielt hat. Generell steigt der Rohproteingehalt, je mehr Kleeanteil in

der Fläche verzeichnet wird. Bereits ein Kleeanteil von 10 % kann für die Fläche in etwa 5 g/kg TM Rohprotein extra bedeuten (Buchgraber, 2018). Auch die Klärschlamm- und Bioabfallkompostvarianten erbringen ausgezeichnete Leistungen in diesem Bereich.

In der Abbildung 10 können die einzelnen Rohproteingehalte des Kleeegrases in den verschiedenen Düngevarianten abgelesen werden.

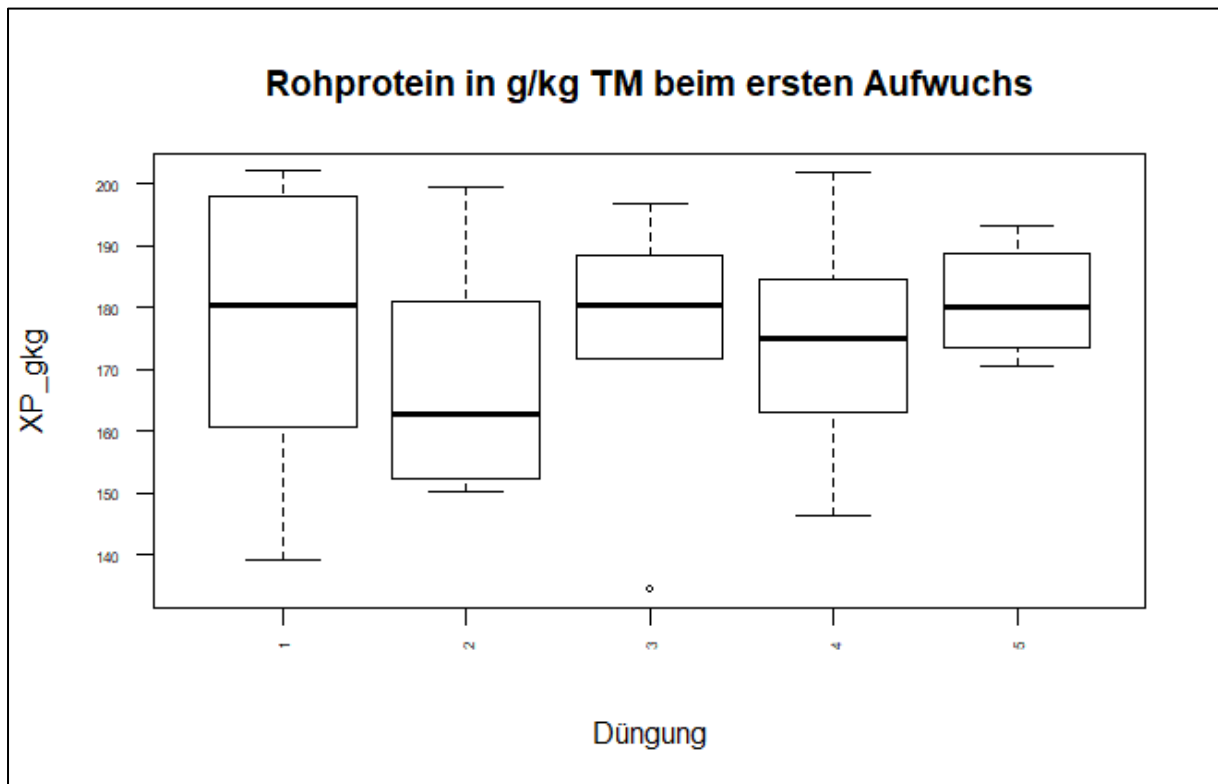


Abb. 10: Rohproteingehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs des Kleeegrases in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.

In der Fraktion **Rohfett** wurden, wie bereits beim Rohprotein, ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in den einzelnen Düngevarianten festgestellt. Bei diesem Parameter ergibt sich ein p-Wert von 0,95. Die mittleren Rohfettgehalte in den unterschiedlichen Varianten liegen bei:

- Ungedüngt: 27 g/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 26 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 25 g/kg TM ^a
- NPK: 25 g/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 27 g/kg TM ^a

Auch hier können die Gehalte mit den ÖAG Futterwerttabellen (2017) für Kleeegrasheu verglichen werden. Die angestrebten Werte sollten beim Heu des ersten Aufwuchses bei rund

20 g/kg TM liegen (Resch et al., 2017). Die vorliegenden Gehalte befinden sich in einem guten Bereich. Vor allem die ungedüngte Variante sowie die Klärschlammkompostvariante weisen mit 27 g/kg TM gegenüber den anderen Düngevarianten gute Rohfettgehalte auf.

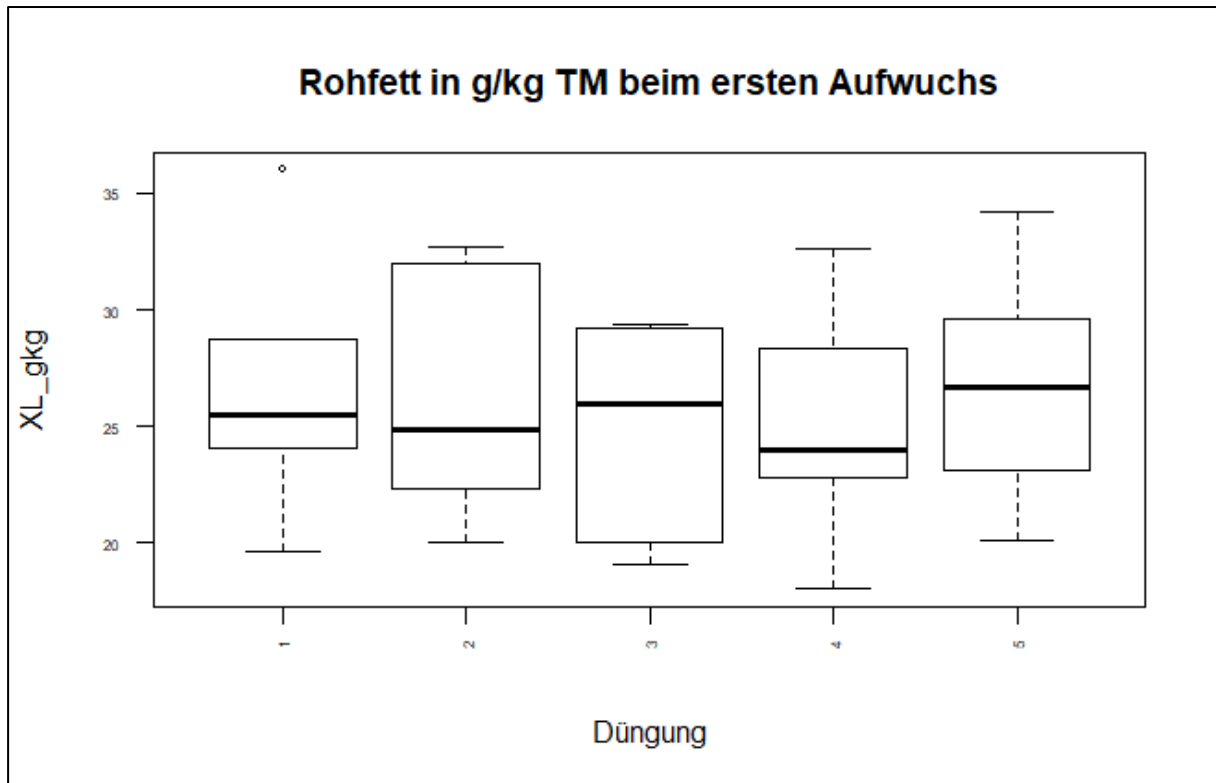


Abb. 11: Rohfettgehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs des Kleeegrases in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.

Im Bereich der **Rohfaser** lassen sich ebenso keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten erkennen. Der p-Wert für dieses Modell liegt bei 0,984. Die mittleren Rohfasergehalte liegen beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs bei:

- Ungedüngt: 227 g/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 234 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 226 g/kg TM ^a
- NPK: 227 g/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 221 g/kg TM ^a

Verglichen mit dem Wert der ÖAG Futterwerttabellen (2017) für Kleeegrasfutter, welche einen Optimumbereich von 320 g/kg TM angibt (Resch et al., 2017), ist zu erkennen, dass die mittleren Gehalte in diesem Versuch sich in einem Bereich befinden, der etwas unter den üblichen Gehalten liegt. Dies wird durch den beim Ernten im frühen Ähren-/Rispschieben bedingten hohen Blattanteil begründet. Wie in der Abbildung 12 zu erkennen ist, weist in der

Nachwirkung vor allem die Düngevariante 2 sowie die Düngevariante 5 höhere Rohfasergehalte auf als die übrigen drei Düngearten.

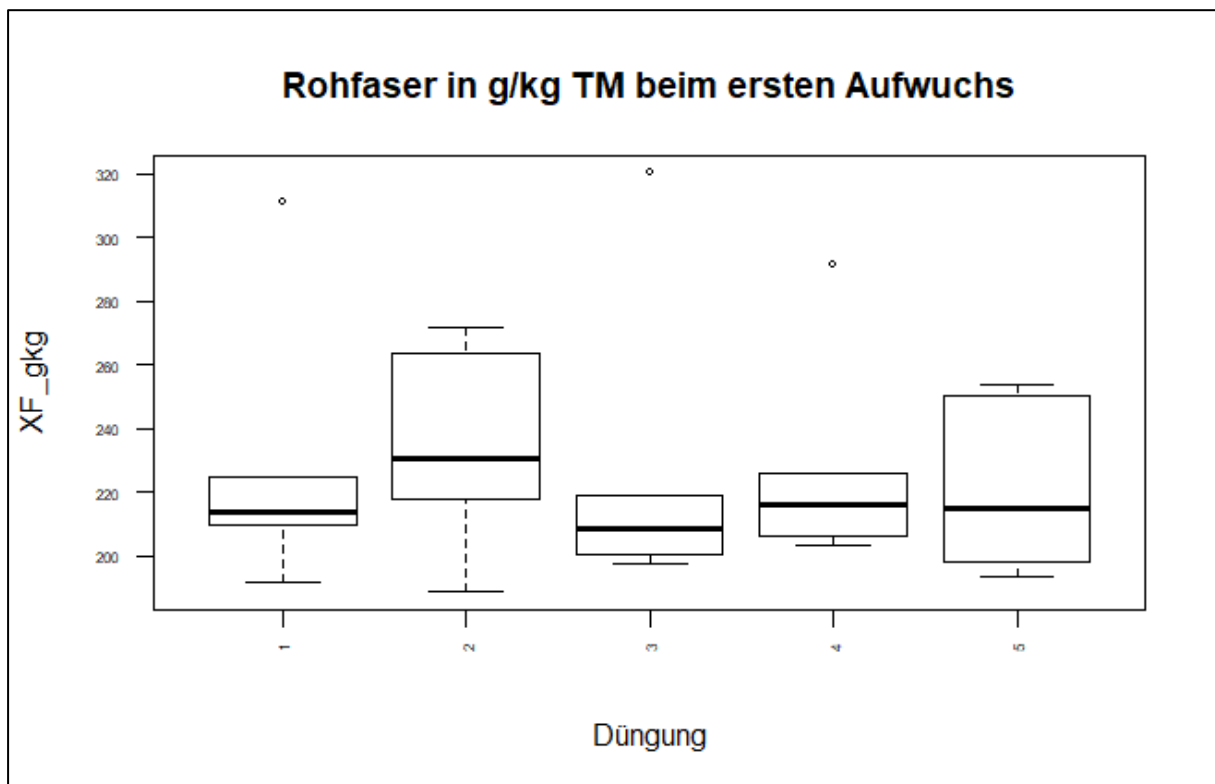


Abb. 12: Rohfasergehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs des Klee-grasfutters bei den unterschiedlichen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.

Sieht man sich die einzelnen **Blöcke** genauer an, so lässt sich erkennen, dass vor allem der Block 2 einen höheren Gehalt an Rohfaser aufweist als die anderen. Es ergibt sich hier auch ein Unterschied in der Signifikanz. Da der Block 2 eine andere Gruppenzugehörigkeit aufweist als die anderen Blöcke. Bezogen auf den Parameter Rohfaser ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Blöcken, was wiederum bedeutet, dass die Nullhypothese abgelehnt wird. Dieser signifikante Unterschied könnte dadurch interpretiert werden, dass Linsen als Vorfrucht angebaut wurden. Diese besitzen, wie bereits erwähnt, die sogenannten Knöllchenbakterien, welche zu einer guten Stickstoffversorgung führen. Weiters ist zu sagen, dass die Rohfaser aus den Komponenten Cellulose, Hemicellulose sowie Lignin besteht, welche mit zunehmendem Alter zunehmen. Dieser Prozess wird durch die gute Stickstoffversorgung wiederum verstärkt. Zusätzlich zum Stickstoff beeinflusst auch der Standort (Boden) und die Nutzungsform den Rohfasergehalt der Pflanze (Buchgraber, 2018).

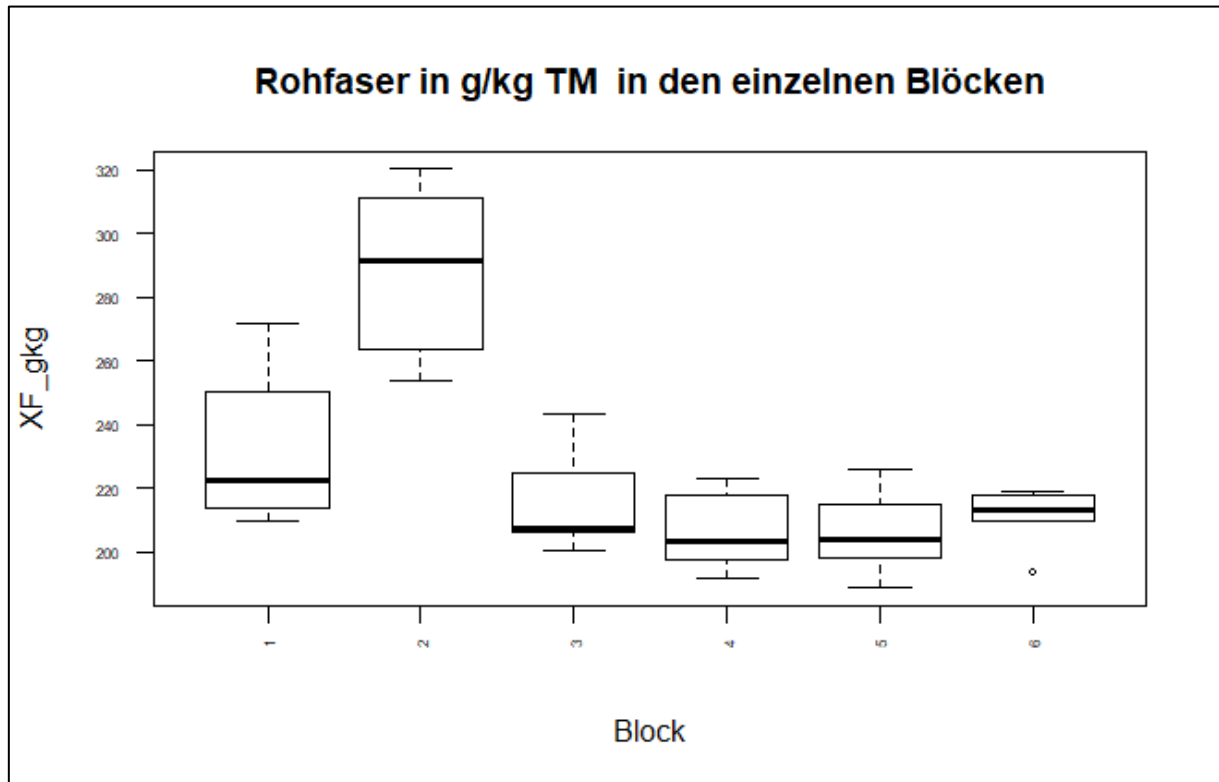


Abb. 13: Rohfasergehalte (g/kg TM) des ersten Aufwuchses in den verschiedenen Blöcken beim Klee grasversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019

Eine weitere Fraktion, welche in dieser Arbeit genauer begutachtet wird, ist die **Rohasche**. In diesem Bereich ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Düngevariante 3 und Düngevariante 1. Es wurde ein Signifikanzniveau von 0,05 angenommen. In den einzelnen Düngevarianten ergaben sich in der Nachwirkung beim ersten Aufwuchs im Klee grasfutter folgende mittleren Rohaschegehalte:

- Ungedüngt: 146 g/kg TM^b
- Bioabfallkompost: 150 g/kg TM^{ab}
- Stallmistkompost: 161 g/kg TM^a
- NPK: 156 g/kg TM^{ab}
- Klärschlammkompost: 151 g/kg TM^{ab}

Kirchgeßner et al. (2014) zählt die Rohasche zu den „anorganischen Komponenten“ eines Futtermittels. Diese unterteilt sich weiter in die Reinasche, mit den Mengen- und Spurenelementen sowie Sand und Ton (Kirchgeßner et al., 2014). Verglichen mit der ÖAG Futterwert tabelle, welche einen Richtwert von 85 g/kg TM angibt (Resch et al., 2017), ist zu erkennen, dass die Gehalte des Klee grasfutters in diesem Versuch deutlich über den normalen Gehalten liegen. Der höchste mittlere Gehalt könnte in der Stallmistkompostvariante mit 161

g/kg TM festgestellt werden. In der folgenden Abbildung 14 sind die Rohaschegehalte in den einzelnen Düngevarianten zu sehen.

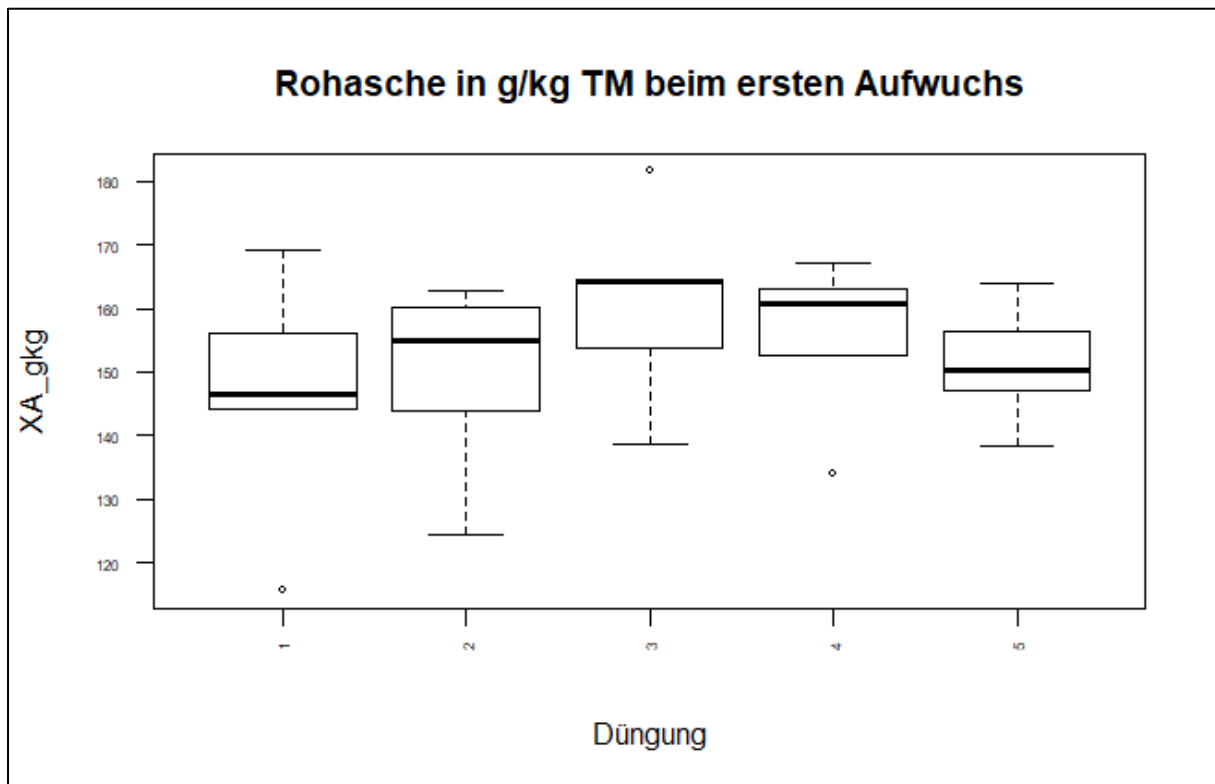


Abb. 14: Rohaschegehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten beim Klee grasversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.

Laut Buchgraber (2018) sollten die Rohaschegehalte zwischen 70 und 100 g/kg TM liegen. Gehalte über 100 g/kg TM können ein Indiz für Futtermittelverschmutzung sein. Dies wird beispielsweise durch Erde oder Wirtschaftsdünger im Futter verursacht. Weiters wird der Rohaschegehalt auch noch vom Rohfasergehalt, dem Trockenmassegehalt aber auch von der Schnitthöhe und dem Aufwuchs beeinflusst (Resch, 2008). Mit zunehmenden Blattanteil steigt daher der Mineralstoffgehalt in der Pflanze, jedoch verringert sich dieser auch wieder mit zunehmendem Alter (Buchgraber, 2018).

Laut Resch et al. (2009) führt ein erhöhter Rohaschegehalt zu einem signifikant höheren Auftreten von Magnesium, Calcium, Kalium sowie auch Eisen, Selen, Kobalt, Kupfer und Zink in der Futterprobe. In diesem Versuch liegen die durchschnittlichen Gehalte dieser Elemente deutlich über den angestrebten Werten der ÖAG Futterwerttabelle. Lediglich Kupfer weist ähnliche Gehalte auf, wie jene der Futterwerttabelle. Für Kobalt ist kein Richtwert in der ÖAG Futterwerttabelle angegeben (Resch et al., 2017).

In der nächsten Tabelle 11 werden die mittleren Gehalte an Mg, Ca, K, Fe, Zn, Cu und Co der fünf Düngevarianten beim ersten Aufwuchs im Klee grasfutter auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, mit jenen der ÖAG Futterwerttabelle (2017) verglichen.

	Mg	Ca	K	Fe	Zn	Cu	Co
	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
ÖAG Richtwert	2,0	7,8	28,6	290	27,0	7,1	-
Ungedüngt	3,8 ^a	17,783 ^a	37,75 ^c	740,0 ^a	35,95 ^a	8,63 ^a	0,45 ^a
Bioabfallkompost	3,6 ^a	17,3 ^a	41,47 ^{bc}	686,7 ^a	34,80 ^a	7,97 ^a	0,38 ^a
Stallmistkompost	3,533 ^a	17,33 ^a	46,00 ^a	705,6 ^a	34,57 ^a	7,98 ^a	0,41 ^a
NPK	3,5 ^a	17,33 ^a	41,983 ^b	847,1 ^a	34,97 ^a	8,52 ^a	0,49 ^a
Klärschlammkompost	3,533 ^a	17,48 ^a	40,35 ^{bc}	814,5 ^a	36,93 ^a	8,85 ^a	0,46 ^a

Tab. 11: Durchschnittlichen Gehalte an Spuren- und Mengenelemente in den einzelnen Düngevarianten beim ersten Klee gras aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs sowie die Gehalte der ÖAG Richtwerttabelle.

Vor allem die Eisenwerte liegen extrem über jenen des Richtwertes. Wie bereits Resch et al. (2009) in ihrer Arbeit erwähnt haben, zeigen erhöhte Rohaschegehalte meist auch eine erhöhte Eisenkonzentration. Diese Annahme kann in dieser Arbeit ebenfalls bestätigt werden.

Die Korrelation zwischen Eisen und dem Rohaschegehalt wird in der Abbildung 15 genauer aufgezeigt. Hier ist deutlich zu sehen, dass mit steigenden Rohaschegehalt (X-Achse) auch der Eisengehalt (Y-Achse) ansteigt.

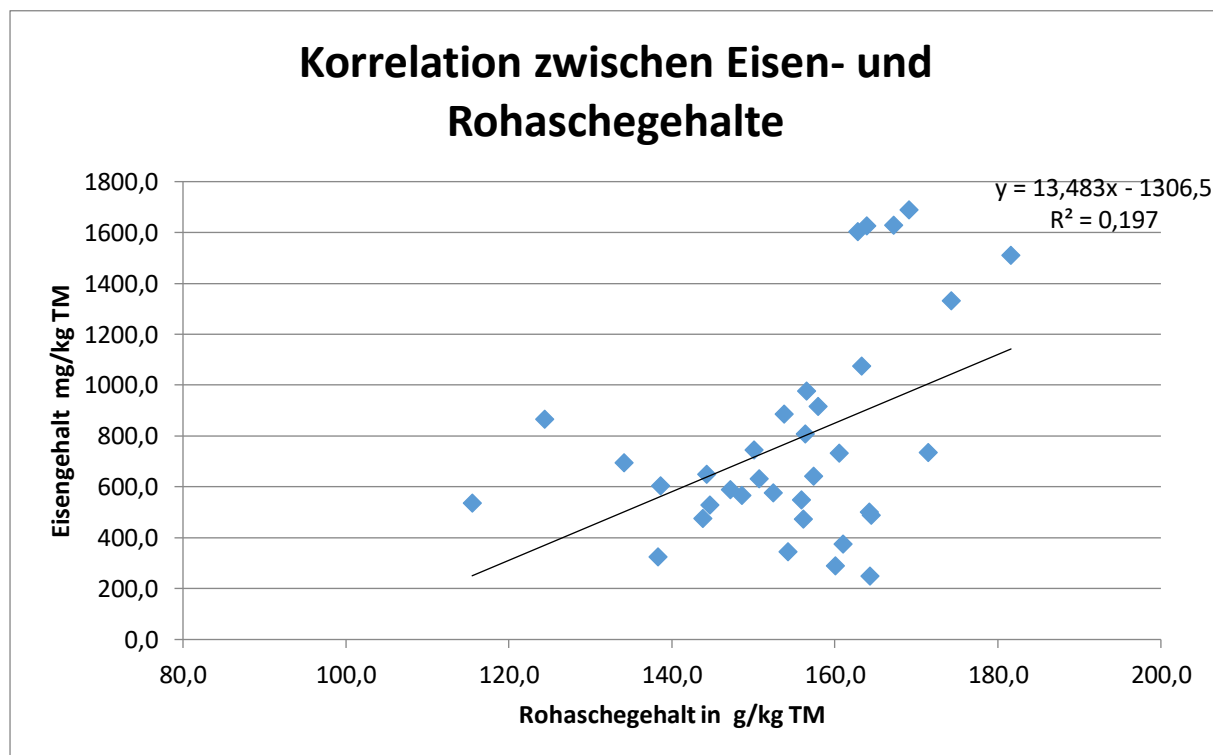


Abb. 15: Korrelation zwischen Eisen- und Rohaschegehalte beim ersten Aufwuchs im Klee grasversuch auf den Flächen des ehemaligen Fruchtfolgeversuches in Bärnbach im Jahr 2019.

Vergleicht man den Eisengehalt zwischen den einzelnen Düngevarianten, so ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Düngevarianten. Bei den Elementen Magnesium, Calcium, Kobalt, Zink und Kupfer ergeben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.

Lediglich bei Kalium wurde ein signifikanter Unterschied zwischen der Düngevariante Stallmistkompost und NPK, Stallmistkompost und Bioabfallkompost, Stallmistkompost und Klärschlammkompost, Stallmistkompost und Ungedüngt sowie zwischen NPK und Ungedüngt festgestellt. Es wird ebenfalls von einem Signifikanzniveau von 0,05 ausgegangen. Im Bereich des Kaliums ergibt sich folgende Gruppenzugehörigkeit:

- Ungedüngt: 37,75 g/kg TM ^c
- Bioabfallkompost: 41,47 g/kg TM ^{bc}
- Stallmistkompost: 46,00 g/kg TM ^a
- NPK: 41,98 g/kg TM ^b
- Klärschlammkompost: 40,35 g/kg TM ^{bc}

Ebenso zu erwähnen ist, dass die Kalziumgehalte nicht höher als 30 g/kg TM liegen sollten, da ansonsten vermehrt Probleme mit Zystenbildung auftreten können (Buchgraber, 2019). Im Bereich dieses ersten Aufwuchs liegen die Gehalte in allen Düngevarianten über 30 g/kg TM.

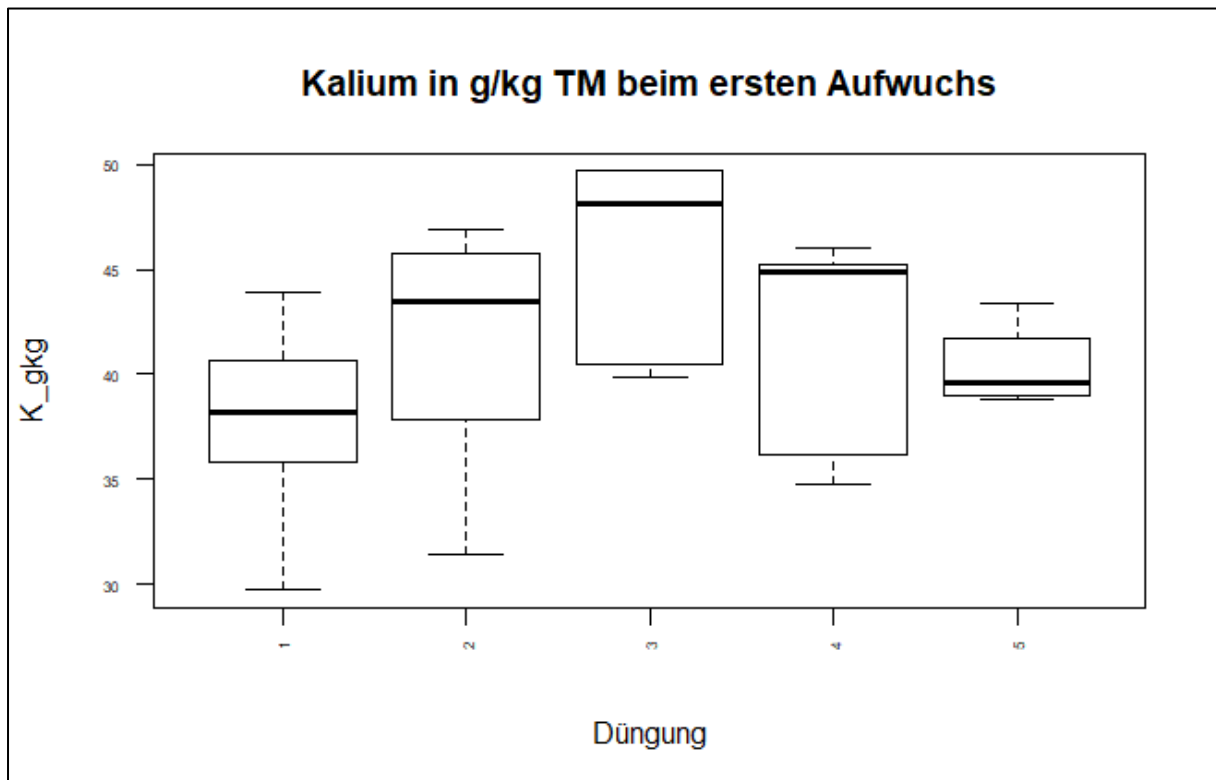


Abb. 16: Kaliumgehalte in g/kg TM beim ersten Kleeegrasaufwuchs in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.

3.2.2.2. Mengenelemente

Mengenelemente zählen zu den Mineralstoffen und sind für den Organismus wichtige Bau- und Regelstoffe. Gegenüber den Spurenelementen, werden sie wegen ihrer Konzentration (>50 mg pro kg Gewebe) unterschieden (Kirchgeßner et al., 2014). Die Mengenelemente, welche in diesem Versuch beim ersten Aufwuchs genauer analysiert werden, sind Natrium, Phosphor, Magnesium, Calcium, sowie Kalium. Die Mengenelemente Magnesium, Calcium sowie Kalium wurden bereits in der Fraktion Rohasche näher erläutert und werden daher hier nicht mehr genauer beschrieben.

Da beim Element **Natrium** keine Normalverteilung vorliegt, wurde hier der Kruskal-Wallis-Test angewendet um Unterschiede in den Natriumgehalten zwischen den fünf Düngevarianten festzustellen. Für dieses Modell ergibt sich ein p-Wert von 0,746, was wiederum bedeutet, dass die Nullhypothese angenommen wird.

- Ungedüngt: 572 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 548 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 503 mg/kg TM ^a
- NPK 560 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 685 mg/kg TM ^a

Der Sollwert für Natrium in der ÖAG Futterwerttabelle ist mit 0,26 g/kg TM angegeben, dass entspricht 260 mg (Resch et al., 2017). In diesem Versuch liegen die Werte im Durchschnitt zwischen 503 und 685 mg/kg TM. Dieses Ergebnis lässt daraus schließen, dass die Pflanzen überaus gut mit Natrium versorgt sind. Vor allem die Klärschlammkompostvariante weist mit 685 mg/kg TM den höchsten Gehalt auf.

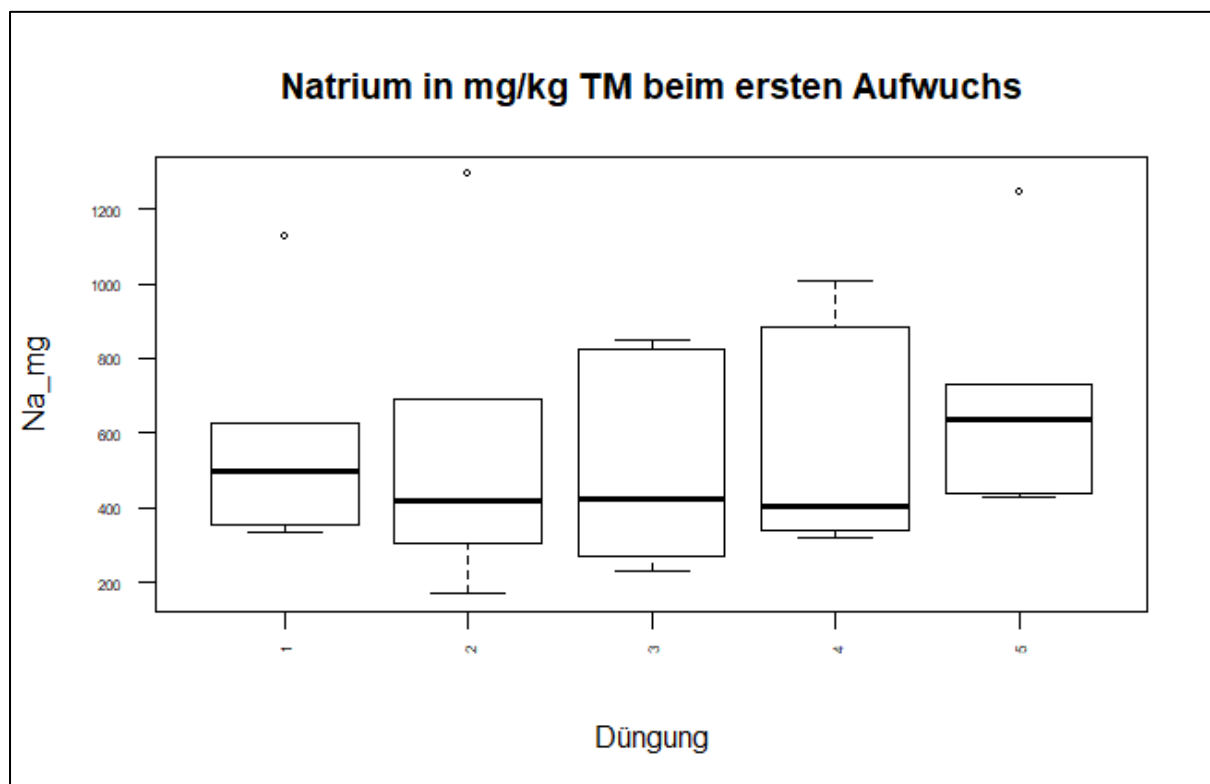


Abb. 17: Natriumgehalte (mg/kg TM) des ersten Kleegrasaufwuchses in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.

Das nächste Mengenelement, welches in dieser Arbeit behandelt wurde, ist **Phosphor**. Bei diesem Element ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten 1 und 2 sowie 1 und 3. Das verwendete Testverfahren war hierbei der Tukey-Test. Als Signifikanzniveau wird 0,05 angenommen. Beim ersten Aufwuchs können folgende mittlere Gehalte im Kleegrasfutter festgestellt werden:

- Ungedüngt: 5,1 g/kg TM ^b
- Bioabfallkompost: 5,6 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 5,5 g/kg TM ^a
- NPK: 5,4 g/kg TM ^{ab}
- Klärschlammkompost: 5,4 g/kg TM ^{ab}

Laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) sollten die Gehalte von Phosphor beim Kleegrasfutter bei rund 3,0 g/kg TM liegen (Resch et al., 2017). Verglichen mit den Gehalten in diesem Versuch, zeigt sich, dass die Werte beim ersten Aufwuchs sehr gut sind. Vor allem die Bioabfallkompostvariante mit 5,6 g/kg TM und die Klärschlammkompostvariante mit 5,4 g/kg TM weisen sehr gute durchschnittliche Gehalte auf. Aber auch die Ungedüngte Variante,

welche über die Jahre hinweg keine Nährstoffgabe erhalten hat, liegt mit 5,1 g/kg TM nicht weit entfernt von den anderen Düngevarianten. Der gute Phosphorgehalt in den Düngevarianten lässt auf eine gute Versorgung der Pflanzen mit Phosphor aus dem Boden schließen. Vor allem bei Leguminosen ist Phosphor und auch Kalium sehr wichtig für eine gute Entwicklung der Pflanze und damit verbunden auch um gute Erträge sowie Qualitäten zu erzielen.

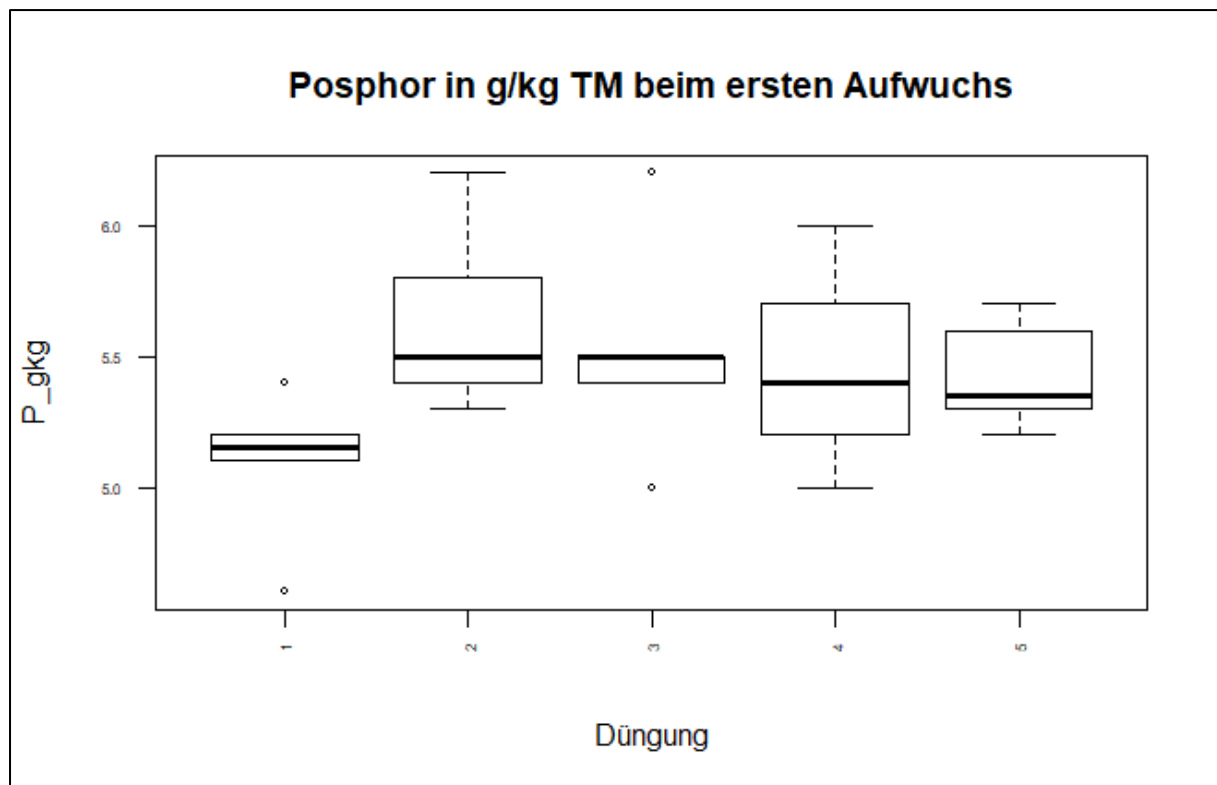


Abb. 18: Phosphorgehalt in g/kg TM beim ersten Kleeegrasaufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.

3.2.2.3. Spurenelemente

Unter Spurenelemente versteht man Elemente, welche im Gewebe mit einer Konzentration kleiner 50 mg/kg TM vorkommen. Spurenelemente sind bei sehr vielen Stoffwechselvorgängen im Körper beteiligt und können bei einem Mangel zu Störungen gewisser Funktionen führen. Zu dieser Fraktion werden Eisen, Zink, Kupfer, Mangan, Bor, Kobalt sowie Molybdän und Chrom gezählt (Kirchgeßner et al., 2014).

Die Elemente Eisen, Zink, Kupfer und Kobalt wurden bereits in der Fraktion Rohasche näher erläutert und werden daher in diesem Unterkapitel nicht mehr weiterbearbeitet.

Das Spurenelement **Mangan** erzielte bei der statistischen Auswertung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten. Der p-Wert für dieses Modell liegt bei 0,708. Es wird von einem Signifikanzniveau von 0,05 ausgegangen. Die durchschnittlichen Gehalte in den einzelnen Varianten beim ersten Aufwuchs im Klee-grasfütter lagen bei:

- Ungedüngt: 81 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 70 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 72 mg/kg TM ^a
- NPK: 79 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 74 mg/kg TM ^a

Der Richtwert der ÖAG Futterwerttabelle (2017) liegt beim Heu aus Klee-grasfütter in der Fraktion Mangan bei 69,00 mg/kg TM (Resch et al., 2017). Die Gehalte beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs liegen etwas darüber. Vor allem die Ungedüngte Variante mit 81 mg/kg TM weist verglichen zu den anderen Varianten sehr gute Gehalte auf.

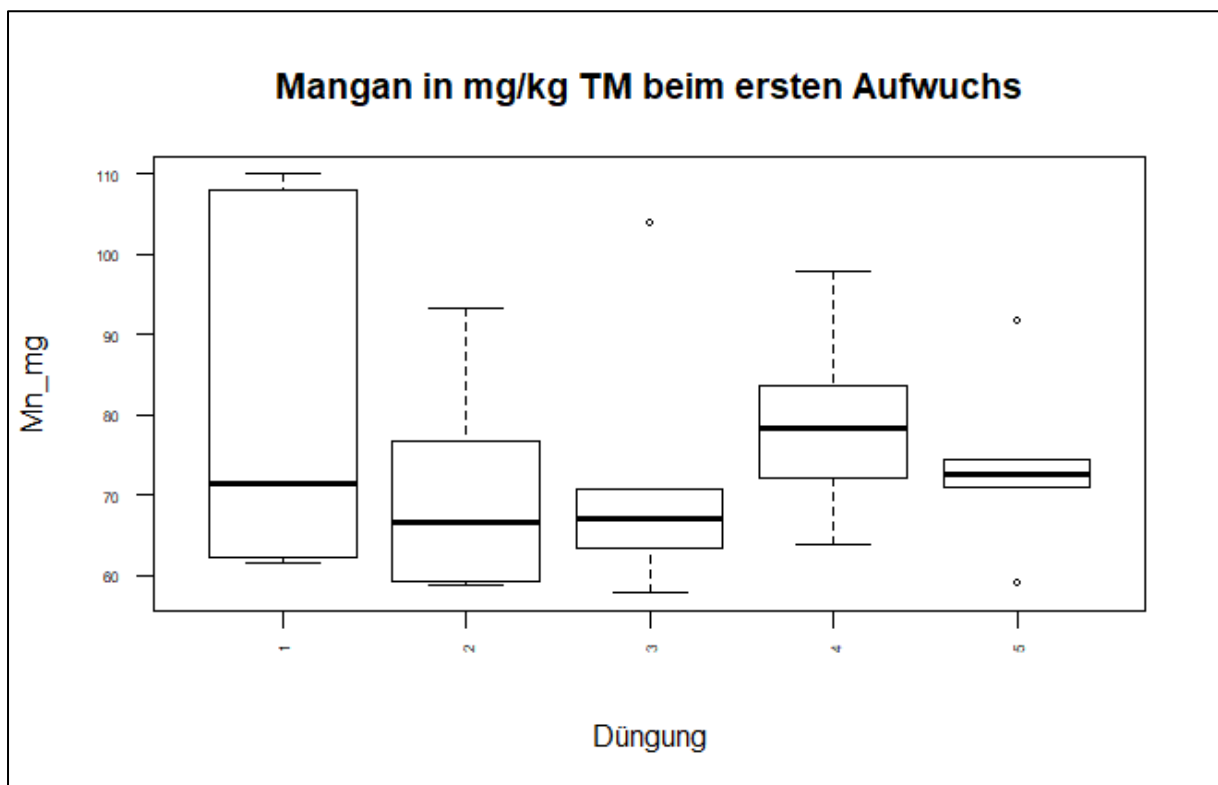


Abb. 19: Mangangehalte in mg/kg TM beim ersten Klee-grasauswuchs in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.

Das Element **Bor** welches im Bereich der Wurzeln aufgenommen wird spielt in der Pflanze eine wichtige Rolle für den strukturellen Zellwandaufbau (Schubert, 2011). In diesem Versuch sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Düngevarianten zu erkennen.

Der p-Wert für dieses Element liegt bei 1,00. Folgende mittlere Borgehalte wurden beim ersten Aufwuchs des Klee-grasfutters ermittelt:

- Ungedüngt: 35 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 35 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 35 mg/kg TM ^a
- NPK: 35 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 36 mg/kg TM ^a

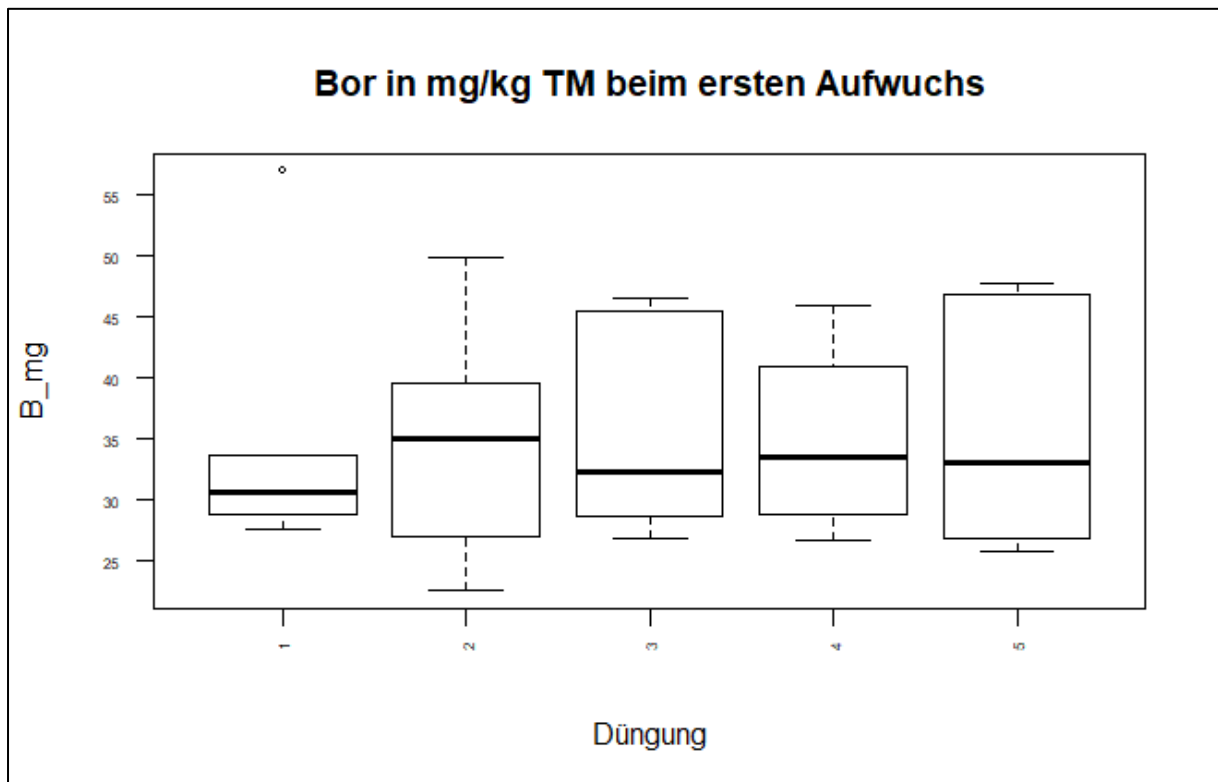


Abb. 20: Borgehalte in mg/kg TM in den unterschiedlichen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach 2019.

Molybdän wird ebenfalls zu den Spurenelementen gezählt (Schubert, 2011) und erzielt bei der statistischen Auswertung keinen signifikanten Unterschied zwischen den Düngevarianten. Der p-Wert welcher in diesem Modell ermittelt wurde ergibt 0,712. Folgende mittleren Gehalte wurden beim ersten Aufwuchs im Klee-grasfutter festgestellt:

- Ungedüngt: 5,6 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 4,9 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 4,5 mg/kg TM ^a
- NPK: 4,9 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 5,8 mg/kg TM ^a

In der Literatur werden bezogen auf die Molybdängehalte keine Angaben zu Richtwerten in der Pflanze gemacht. In der folgenden Abbildung 21 können die Gehaltsspannen in den verschiedenen Düngevarianten abgelesen werden.

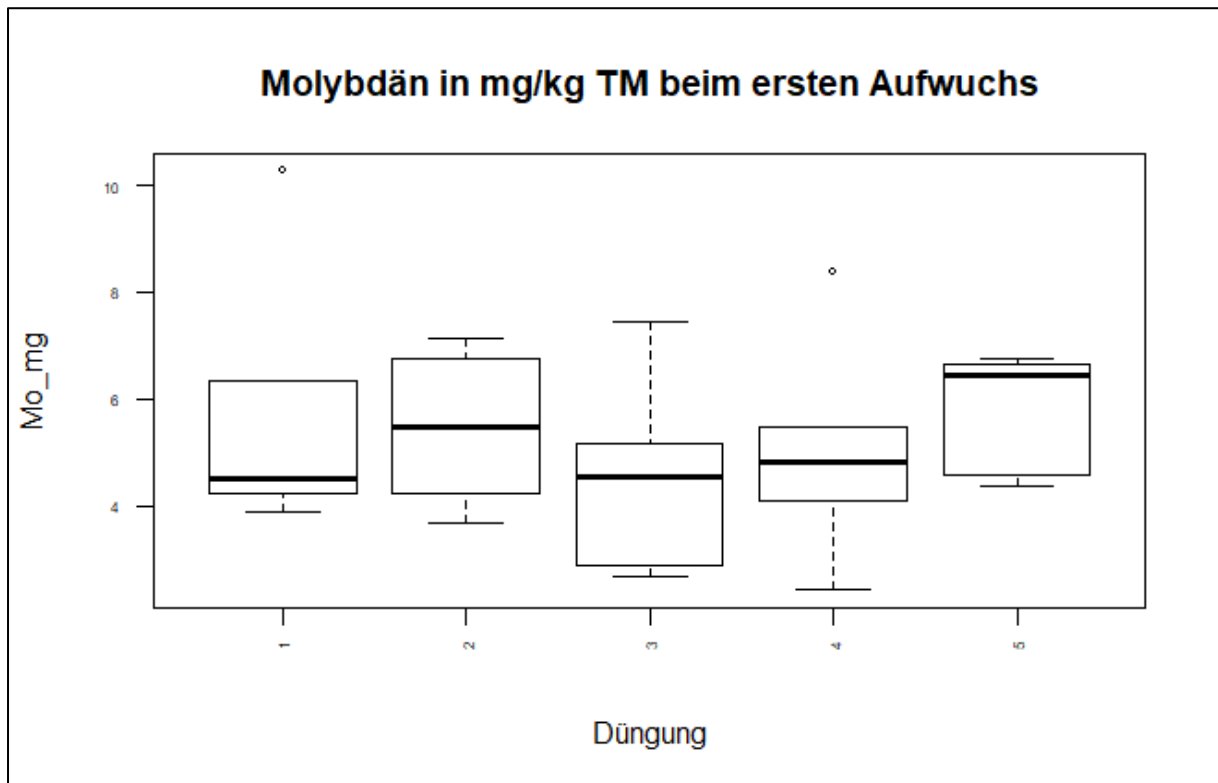


Abb. 21: Molybdängehalte in mg/kg TM in den unterschiedlichen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach 2019.

3.2.2.4. Schwermetalle

Zu Beginn ist zu sagen, dass alle Pflanzennährstoffe eine schädliche Wirkung auf den Organismus haben können, wenn diese in zu hohe Konzentration auftreten. Im Bereich der Schwermetalle liegt das Problem, dass diese oftmals Pflanzennährstoffe verdrängen ohne dessen physiologische Funktion zu übernehmen (Schubert, 2011).

Laut Schubert (2011) zählen zu den Schwermetallen die Elemente Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Zink, Nickel sowie Quecksilber. Kupfer und Zink werden grundsätzlich zu den Spurenelementen gezählt, da sie wichtige Aufgaben im Organismus übernehmen. Treten sie jedoch in höheren Konzentrationen auf, so wirken sie toxisch. Nickel kann ebenfalls auch zu den Spurenelementen gezählt werden, da es zum Beispiel als Cofaktor des Enzyms Urease bei der Harnstoffaufspaltung beteiligt ist. Um die Toxizität der einzelnen Elemente zu bestimmen, ist es wichtig zu wissen, in welchen Konzentrationen diese vorkommen (Schubert, 2011).

Das erste Schwermetall, welches in dieser Arbeit genauer betrachtet wird, ist **Chrom**. Dieses Element weist beim ersten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten auf. Der p-Wert für dieses Schwermetall liegt bei 0,941. Beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs wurden folgende Chromgehalte festgestellt:

- Ungedüngt: 1,01 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,993 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 1,037 mg/kg TM ^a
- NPK: 1,208 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 1,157 mg/kg TM ^a

In der EU-Richtlinie 2002/32/EG für unerwünschte Futtermittelstoffe in der Tierernährung werden keine Höchstgehalte für Chrom festgelegt (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Laut Mengel und Kirkby (2001) sollte der Gehalt von Chrom in Futtermittel nicht über 50 bis 3.000 mg/kg TM hinausgehen. Für Pflanzen liegt der Höchstgehalt laut Mengel und Kirkby (2001) bei 1 bis 2 mg/kg TM. Der höchste durchschnittliche Gehalt mit 1,208 mg/kg TM wurde in der Variante NPK erfasst. Im Bereich des Klärschlammkompostes liegen die mittleren Gehalte bei 1,157 mg/kg TM, was wiederum den zweithöchsten Gehalt in diesem Aufwuchs ergibt. Im Durchschnitt waren die Chromgehalte mit 0,993 mg/kg TM in der Variante Bioabfallkompost am niedrigsten.

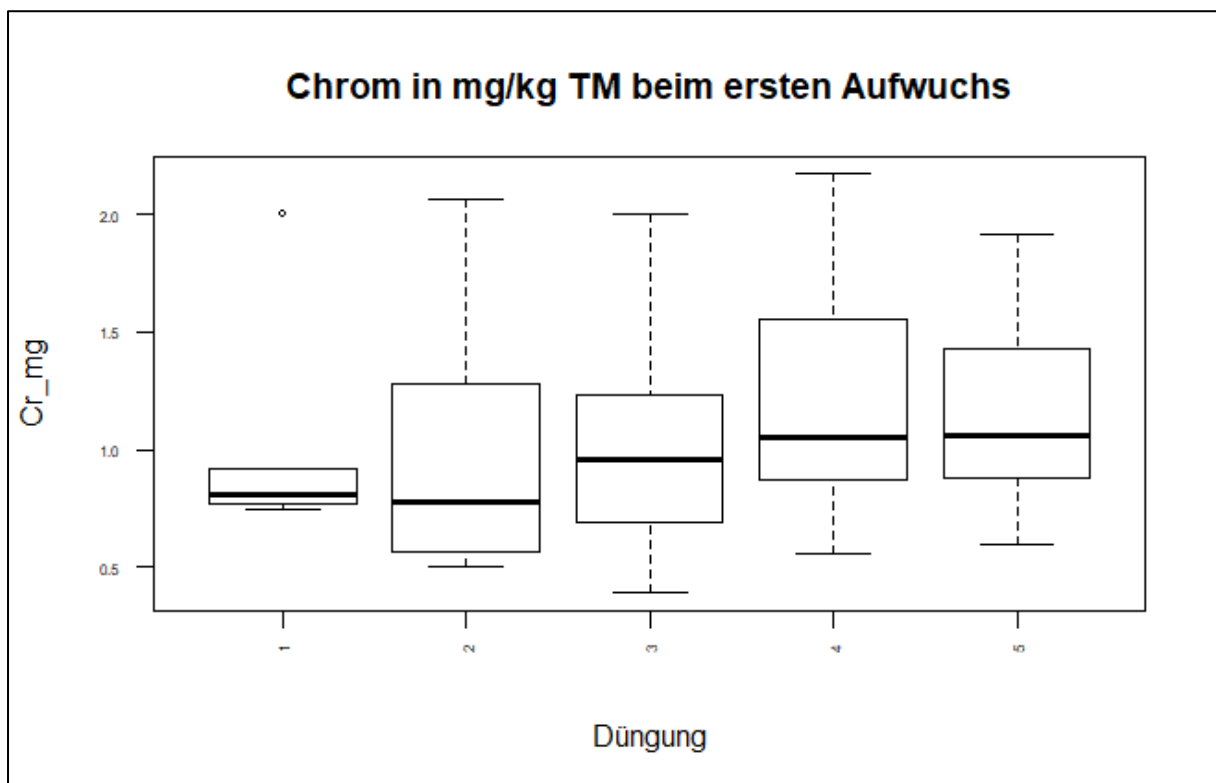


Abb. 22: Chromgehalte in mg/kg TM in den unterschiedlichen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach 2019.

Das nächste Element, welches in dieser Arbeit genauer beleuchtet wird, ist **Nickel**. Dieses Schwermetall zeigt in diesem Versuch ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten auf. Der p-Wert für dieses Schwermetall liegt bei 0,866. Die durchschnittlichen Gehalte liegen bei:

- Ungedüngt: 1,360 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 1,185 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 1,267 mg/kg TM ^a
- NPK: 1,515 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 1,443 mg/kg TM ^a

In der Futtermittelverordnung der EU gibt es, gleich wie für Nickel, keine Höchstgrenze für Nickel (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Verglichen mit Mengel und Kirkby (2001) sollten die Gehalte an Nickel für Futtermittel nicht über 50 bis 60 mg /kg TM hinausgehen. In diesem Versuch liegen die mittleren Nickelgehalte in einem Bereich zwischen 1,1 und 1,5 mg /kg TM. Die höchsten mittleren Gehalte weisen NPK mit 1,515 mg /kg TM und Klärschlammkompost mit 1,443 mg/kg TM im Nachwirkungsversuch auf. Am niedrigsten liegt die Bioabfallkompostvariante mit 1,185 mg/kg TM. Nimmt man den Wert (50 mg/kg TM) von Mengel und Kirkby (2001) als Grenzwert an, so liegen die Gehalte in diesem Versuch in einem sehr niedrigen Bereich.

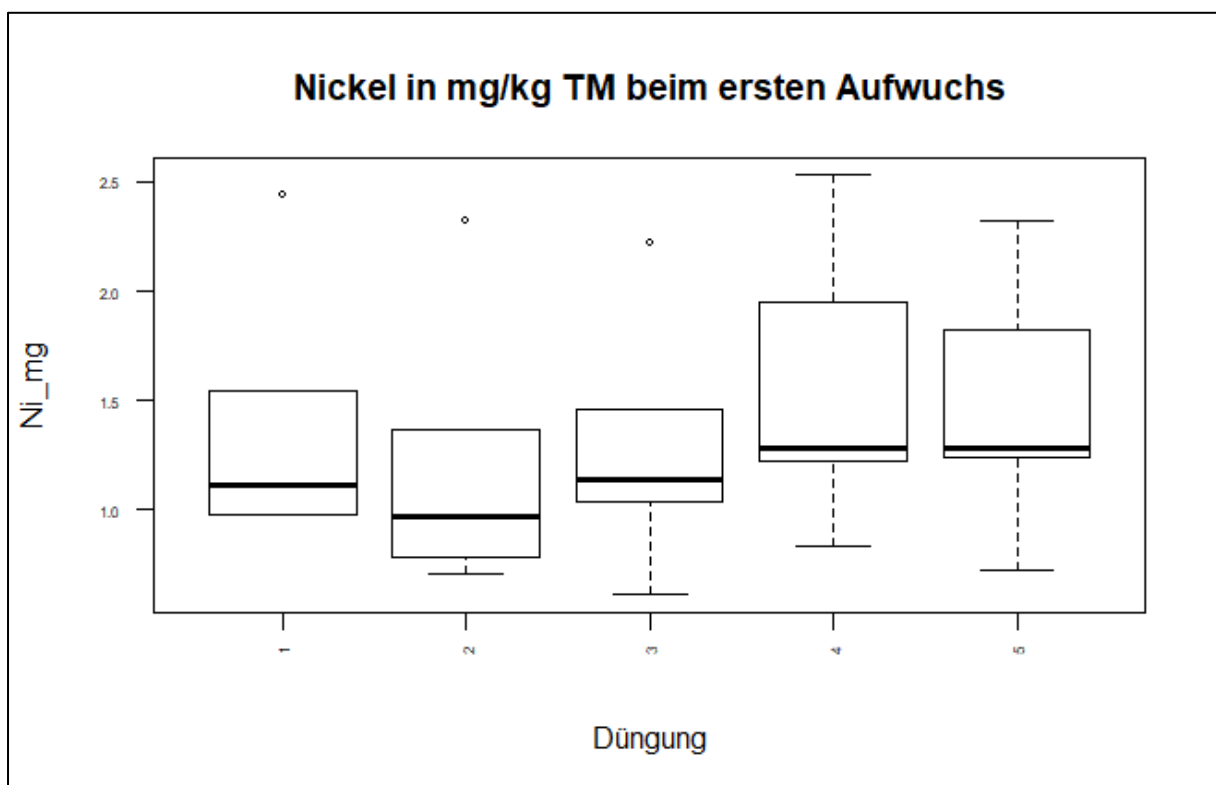


Abb. 23: Nickelgehalte in mg/kg TM beim ersten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Cadmium, eines der gefährlichsten Schwermetalle für die menschliche Ernährung (Schubert, 2011), zeigt in diesem Versuch keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Düngevarianten. Der p-Wert liegt bei 0,949. Die mittleren Gehalte im Nachwirkungsversuch beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs liegen bei:

- Ungedüngt: 0,142 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,138 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 0,142 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,157 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 0,142 mg/kg TM ^a

Im Bereich des Schwermetalles Cadmiums gibt es auf EU-Ebene eine Höchstgrenze für Alleinfuttermittel, diese liegt bei 1 mg/kg TM (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Verglichen mit den Gehalten in diesem Nachwirkungsversuch liegen diese deutlich darunter. Den höchsten Gehalt weist die NPK Variante, mit 0,157 mg/kg TM auf. Generell ist zu sagen, dass die mittleren Gehalte in diesem Versuch weniger als 1/6 des Höchstwertes von 1 mg/kg TM ausmachen. Laut Mengel und Kirkby (2001) sollten die Gehalte von Cadmium in Futtermittel nicht mehr als 0,5 bis 1 mg/kg TM betragen. Stellt man diese Werte der EU-Richtlinie gegenüber, so ist zu sehen, dass die Auflagen in der EU Richtlinie sehr ähnlich sind.

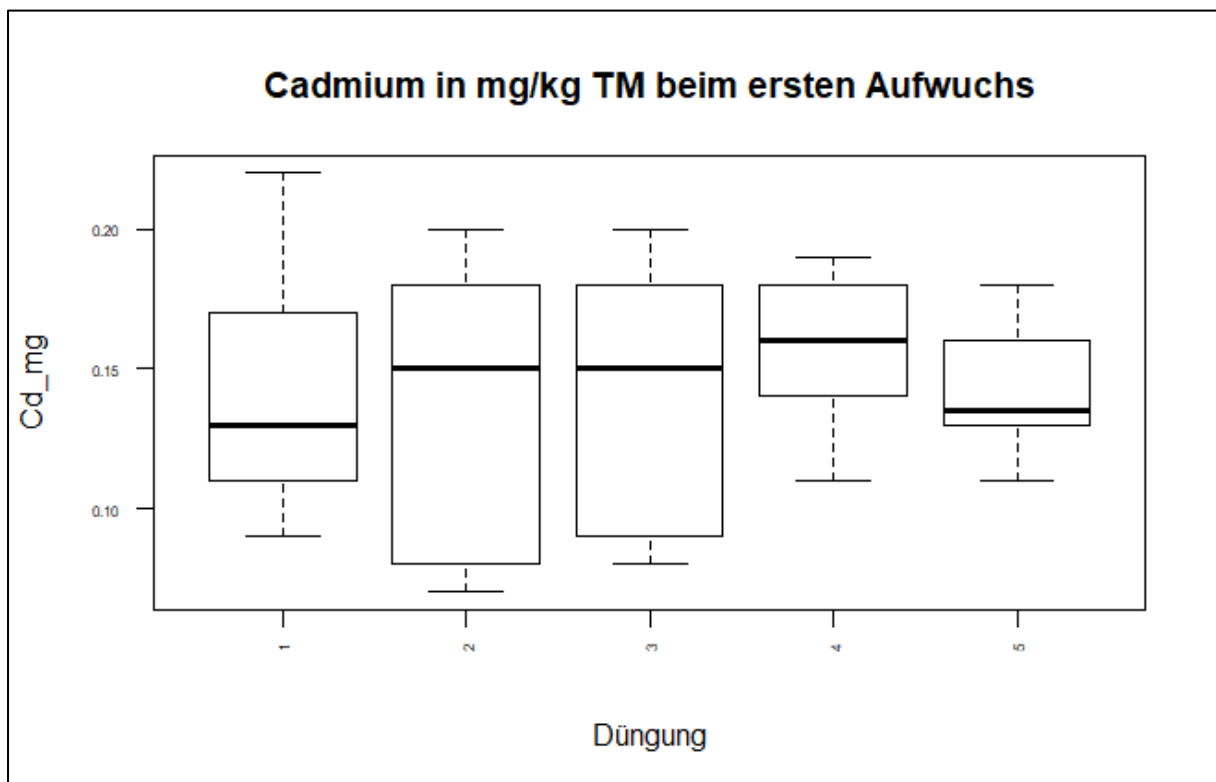


Abb. 24: Cadmiumgehalt in mg/kg TM beim ersten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Ein weiteres Element, welches zu den Schwermetallen gezählt wird, ist **Blei**. Das Ergebnis der statistischen Auswertung zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten gibt. Der p-Wert für dieses Element liegt bei 0,845. Die durchschnittlichen Bleigehalte im ersten Aufwuchs des Klee-grasfutters liegen bei:

- Ungedüngt: 0,807 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,730 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 0,850 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,967 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 0,890 mg/kg TM ^a

Die EU-Richtlinie (2002/32/EG) legt für Blei in Alleinfuttermittel einen Höchstgehalt von 5 mg/kg TM vor. Im Bereich des Grünfutters gilt eine Höchstgrenze von 40 mg/kg TM. (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). In diesem Versuch liegen die Bleigehalte im Durchschnitt zwischen 0,730 und 0,967 mg/kg TM. Dies zeigt, dass die Werte in diesem Versuch sehr gering sind und auch keine Bedenken bei der Verfütterung des Klee-grases bestehen. Eine weitere Quelle, die Grenzwerte für Futtermittel angibt, ist Mengel und Kirkby (2001), welche einen Höchstgehalt von 10 bis 30 mg/kg TM festlegt.

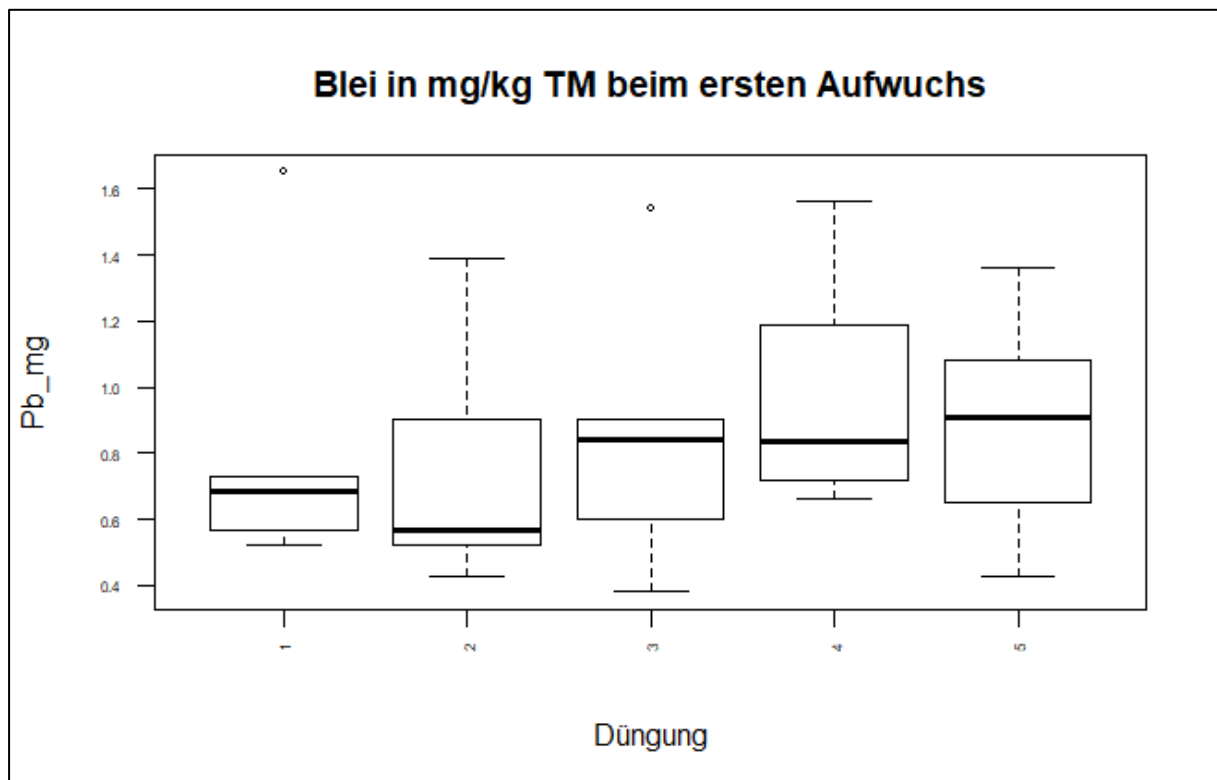


Abb. 25: Bleigehalte in mg/kg TM beim ersten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

In der folgenden Tabelle 12 sind die gesamten Schwermetallgehalte in den verschiedenen Düngevarianten mit den Grenzwerten der EU-Richtlinie (2002/32/EG) sowie mit jenen von Mengel und Kirkby (2001) gegenübergestellt.

	Cr (mg/kg TM)	Ni (mg/kg TM)	Cd (mg/kg TM)	Pb (mg/kg TM)
EU-Richtlinie: Alleinfuttermittel Grünfutter	- -	- -	1,0 -	5 40
Mengel und Kirkby (2001)	50 - 3000	50 - 60	0,5 - 1,0	10 - 30
Ungedüngt	1,01	1,36	0,14	0,81
Bioabfallkompost	0,993	1,18	0,14	0,73
Stallmistkompost	1,04	1,27	0,14	0,85
NPK	1,21	1,51	0,16	0,97
Klärschlammkompost	1,16	1,44	0,14	0,89

Tab. 12: Schwermetallgehalte des Kleegrases beim ersten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs.

Schlussendlich kann gesagt werden, dass bei keinem einzigen Schwermetall die mittleren Gehalte im Kleegrasfutter in den fünf Düngearten beim ersten Aufwuchs in einem kritisch anzusehenden Bereich liegen. Daher besteht auch keine gesundheitliche Gefahr bei der Verfütterung dieses Feldfutters. Weder der Klärschlammkompost noch der Bioabfallkompost zeigt in einer der Schwermetallfraktion einen erhöhten Gehalt. Weiters weisen die Varianten Klärschlammkompost sowie Bioabfallkompost übliche Gehalte beim Rohprotein und Rohfett auf. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Bedenken, welche oftmals mit Klärschlamm und Bioabfall in Verbindung gebracht werden, unbegründet sind. Jedoch sind solche Ergebnisse nur dann zu erreichen, wenn der Klärschlammkompost in der richtigen Qualität ausgebracht wird. Verglichen mit den anderen Düngeformen, können diese beiden Varianten sehr gut mithalten. Ebenfalls erwähnenswert ist auch die Leistung der ungedüngten Variante. Diese zeigt beim Kleegrasfutter keine allzu schlechten Ergebnisse im Vergleich zu den anderen Varianten, was wiederum das große Leistungspotenzial des Bodens und der Leguminosen aufzeigt.

3.2.3. Nährstoffentzüge über das Erntegut

Über die Pflanze werden Nährstoffe, aber auch Schwermetalle vom Boden aufgenommen und über das Erntegut abtransportiert. Grundsätzlich beeinflusst die Düngung diesen Nährstoffentzug ebenso. In diesem Versuch kam es jedoch zu keiner Düngung, was wiederum bedeutet, dass lediglich die Nährstoffentzüge vom Boden geltend gemacht werden.

Rohproteinерtrag und Stickstoffentzug

Für diese Fraktion ergibt sich keine Normalverteilung, daher wurde hier ein Kruskal-Wallis-Test angewendet. Dabei ergab sich ein p-Wert von 0,8621. Aufgrund dieses Ergebnisses kann man darauf schließen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Düngevarianten besteht. Die mittleren Rohproteinерträge liegen beim Klee gras im ersten Aufwuchs bei:

- Ungedüngt: 285 kg RP /ha ^a
- Bioabfallkompost: 302 kg RP /ha ^a
- Stallmistkompost: 308 kg RP /ha ^a
- NPK: 314 kg RP /ha ^a
- Klärschlammkompost: 308 kg RP /ha ^a

Die guten Rohproteinерträge sind durch den hohen Kleeanteil im Feldfutter bedingt. Das beste durchschnittliche Ergebnis lieferte die Düngewariante NPK mit 314 kg RP/ha. Die Klärschlammkompostvariante erzielte mit 308 kg/ha Rohprotein ebenfalls sehr gute Erträge. Die geringsten durchschnittlichen Gehalte erbrachte die Variante Ungedüngt mit 285 kg RP/ha, jedoch liegt diese nicht wesentlich unter den anderen Düngewarianten

Dividiert man den Rohproteinерtrag (kg/ha) durch 6,25 so erhält man die Stickstoffmenge in kg/ha. Diese liegen in diesem Versuch beim ersten Aufwuchs bei:

- Ungedüngt: 45,6 kg N /ha TM
- Bioabfallkompost: 48,3 kg N /ha TM
- Stallmistkompost: 49,3 kg N /ha TM
- NPK: 50,3 kg N /ha TM
- Klärschlammkompost: 49,3 kg N /ha TM

Über das Jahr hinweg werden pro 1 % Leguminosenanteil in der Fläche, rund 4 kg/ha an Stickstoff produziert. Dieser Stickstoff wird jedoch zum größten Teil erst im Folgejahr wirksam (Buchgraber, 2019). Auf den Versuchsf lächen liegt der Leguminosenanteil beim ersten Aufwuchs durchschnittlich bei 70 %. Was wiederum bedeutet, dass in etwa 280 kg N/ha bei diesem Aufwuchs, über die Symbiose mit den Knöllchenbakterien, produziert wird. Rund 50 kg N/ha, welcher durch die Symbiose produziert wurde, wird durch die Pflanze aufgenommen und über die Biomasse vom Feld abtransportiert. Es wird jedoch Stickstoff nicht nur über die Knöllchenbakterien produziert, sondern auch über die Bodenmineralisierung freigegeben. Es wird davon ausgegangen, dass bei einem Humusgehalt von 3,5 % etwa 15 Tonnen Stickstoff pro ha vorliegen. Von diesen 15 Tonnen werden ca. 0,5 % pro Jahr mineralisiert, was wiederum ca. 75 kg N pro ha und Jahr bedeutet. Hierbei wird von einer sehr guten Mineralisierung bei besten Bedingungen im Boden ausgegangen. Bei „normalen“ Wetterbedingungen liegt die Mineralisierung in etwa bei 45 bis 50 kg/ha und Jahr (Buchgraber,

2019). In diesem Nachwirkungsversuch lagen die Stickstoffentzüge beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs zwischen 45 und 50 kg/ha.

Laut dem Versuch von Spiess und Stauffer (2007) lagen bei ihnen im Bereich des Rotklee die jährlichen Stickstoffentzüge bei 376 kg/ha und Jahr. Hierbei wurden die Flächen vier bis fünfmal gemäht. Das würde pro Aufwuchs in etwa 75 bis 94 kg/ha Stickstoffentzug bedeuten. Erwähnenswert an diesem Versuch ist auch noch, dass es zu einer Phosphatdüngung (50 kg/ha und Jahr) sowie zu einer Gabe von Kali (250 kg/ha und Jahr) kam (Spiess und Stauffer, 2007). Verglichen mit den Gehalten in diesem Versuch ist zu sagen, dass diese etwas darunter liegen. Jedoch erfolgte hierbei auch keine Düngung in Form von Phosphor oder Kalium.

Phosphorentzug

Laut der Richtlinie für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland (2017) entspricht die Düngeempfehlung für Phosphor bei einem kleebetonten Feldfutter in etwa 65 kg/ha und Jahr. Die Düngeempfehlung entspricht auch dem Nährstoffentzug über die Pflanze (BMLFUW, 2017).

Für die Fraktion *Phosphorentzug* wird die Nullhypothese abgelehnt, da der p-Wert (0,0446) des Modells kleiner als das Alpha von 0,05 ist. Mit dem Tukey-Test konnten Unterschiede im Phosphorentzug zwischen der Düngevariante Ungedüngt und Bioabfallkompost festgestellt werden. In diesem Versuch liegen die durchschnittlichen Phosphorentzüge beim ersten Aufwuchs des Nachwirkungsversuch bei:

- Ungedüngt: 8,30 kg P /ha ^b
- Bioabfallkompost: 10,25 kg P /ha ^a
- Stallmistkompost: 9,77 kg P /ha ^{ab}
- NPK: 9,92 kg P /ha ^{ab}
- Klärschlammkompost: 9,22 kg P /ha ^{ab}

Die Düngeempfehlung welche von der Richtlinie für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland (2017) angegeben wird, bezieht sich auf das gesamte Jahr. Die Mengen für den Entzug, welche in diesem Nachwirkungsversuch festgestellt wurden, beziehen sich jedoch nur auf den ersten Aufwuchs. Der niedrigste Entzug wurde beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in der Variante Ungedüngt mit 8,30 kg P/ha festgestellt. Begründet werden kann dieses Ergebnis damit, dass die Fläche im vorgelagerten Fruchtfolgeversuch keine Düngung erhalten hat und daher die Phosphor-Reserven im Boden niedriger sind als bei den anderen Varianten.

Kaliumentzug

Im Bereich des Kaliums ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Variante Ungedüngt und NPK sowie zwischen Ungedüngt und Stallmistkompost. Für die Ermittlung der Unterschiede wurde ein Tukey-Test angewendet. Die mittleren Entzüge im Bereich von Kalium liegen bei diesem ersten Aufwuchs bei:

- Ungedüngt: 60,32 kg/ha TM ^b
- Bioabfallkompost: 73,47 kg/ha TM ^{ab}
- Stallmistkompost: 80,97 kg/ha TM ^a
- NPK: 75,58 kg/ha TM ^a
- Klärschlammkompost: 68,70 kg/ha TM ^{ab}

Wie auch beim Phosphor liegt für Kalium eine Düngeempfehlung in der Richtlinie für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland (2017) vor, welche wiederum den Nährstoffentzug über die Pflanze darstellt. Hierbei wird bei einem kleebetonten Feldfutter (mittlerer Ertrag) von einer Düngermenge von etwa 190 kg/ha und Jahr ausgegangen (BMLFUW, 2017). Vor allem in der Fraktion Stallmistkompost wurden höhere Kaliumentzüge im Nachwirkungsversuch festgestellt. Die Ungedüngte Variante weist mit 60,32 kg/ha die geringsten Entzüge auf. Die Entzüge von Kalium im ersten Aufwuchs liegen in einem normal anzunehmenden Bereich.

3.3. Ergebnisse des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs

3.3.1. TM Erträge beim ersten Aufwuchs

Auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches wurde im Jahr 2019 erstmals Klee gras angebaut. Dabei erfolgte, gleich wie beim Fruchtfolgeversuch, keine Düngung. Folgende Erträge wurden in den einzelnen Düngewarianten im Nachwirkungsversuch erzielt:

- Ungedüngt: 956,85 kg TM /ha
- Bioabfallkompost: 1.232,19 kg TM /ha
- Stallmistkompost: 1.321,02 kg TM /ha
- NPK: 1.363,01 kg TM /ha
- Klärschlammkompost: 1.233,62 kg TM /ha

Verglichen mit den Erträgen des ersten Aufwuchs der Fruchtfolgeversuchsflächen, ist zu erkennen, dass die Klee graserträge im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaisversuchs etwas darunter liegen. Vor allem die ungedüngte Variante weist mit 956,85 kg TM/ha eher niedrige Werte auf. Als Interpretation für dieses geringere Ertragspotenzial kann die Vorfrucht herangezogen werden. Die Kulturpflanze Mais gehört zu den sogenannten stickstoffzehrenden Pflanzen. Das bedeutet, dass diese Pflanzen während ihrer Vegetationsperiode sehr viel Stickstoff, oder besser gesagt Nitrat, aus dem Boden aufnimmt. Was wiederum bedeutet, dass die Reserven für die späteren Kulturen geringer sind (Diepenbrock et al, 2016). Dieser Effekt ist deutlich in der ungedüngten Variante zu erkennen. In dieser Ungedüngten Variante erfolgte über 25 Jahre keine Düngung mehr und durch den fortlaufenden Anbau von Silomais wurden dem Boden permanent Nährstoffe entzogen.

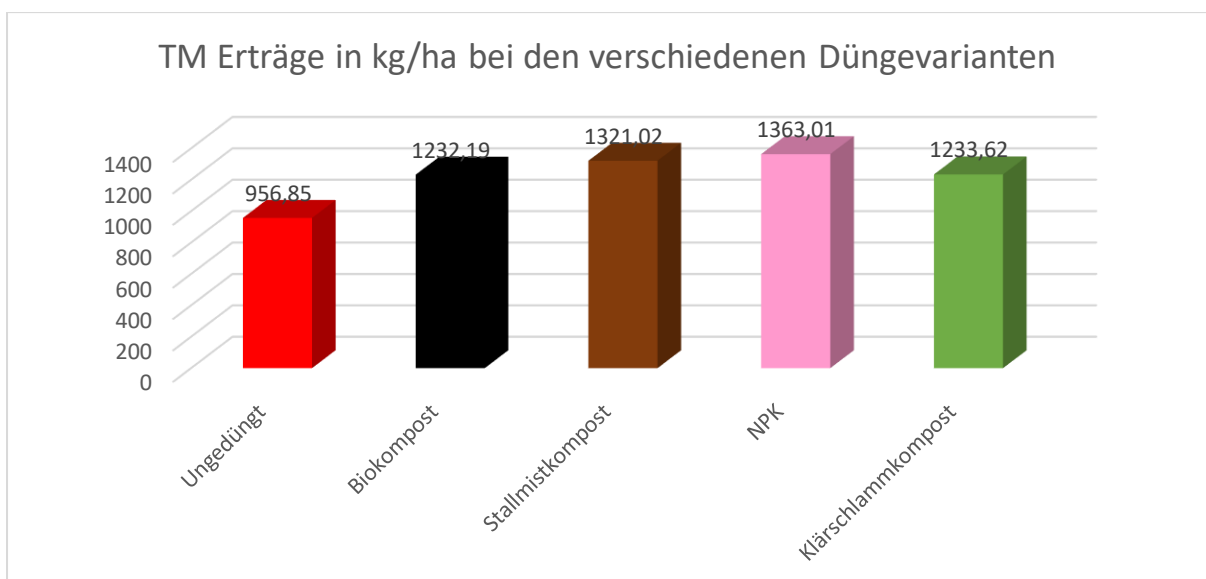


Abb. 26: TM Erträge in kg/ha bei den verschiedenen Düngewarianten beim ersten Klee grasaufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches in Bärnbach 2019.

3.3.2. Inhaltsstoffe des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaisversuchs

Das Klee gras, welches auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches angebaut wurde, ist neben der typischen Inhaltsstoffe der Weender Futtermittelanalyse auch auf die Spuren- und Mengenelemente sowie die Schwermetalle untersucht worden.

3.3.2.1. Weender Futtermittelanalyse

Die erste Fraktion, welche die bei diesem Aufwuchs genauer betrachtet wird, ist das **Rohprotein**. Hierbei ergaben sich folgende Rohproteingehalte beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches:

- Ungedüngt: 196,0 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 181,1 g/kg TM
- Stallmistkompost: 181,5 g/kg TM
- NPK: 202,5 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 198,7 g/kg TM

Laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) sollten die Gehalte beim Klee gras im ersten Aufwuchs bei rund 130 g/kg TM liegen (Resch et al., 2017). Verglichen mit diesem Nachwirkungsversuch zeigt sich, dass die Gehalte deutlich darüber liegen. Ein sehr gutes Ergebnis weist die Ungedüngte Variante mit 196 g/kg TM auf. Aber auch die Bioabfallkompostvariante mit 181,1 g/kg TM und der Klärschlammkompost mit 198,7 g/kg TM erzielen gute Gehalte.

Die Gehalte des Klee grasfutters auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs liegen etwas unter jenen der Silomaisversuchsflächen. Vor allem die Ungedüngte Variante weist im Fruchtfolgeversuch mit 177 g/kg TM schlechtere Ergebnisse auf als bei diesem Versuch.

Eine weitere Fraktion, die in dieser Arbeit betrachtet wird, ist das **Rohfett**. Die Gehalte in den einzelnen Varianten liegen beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches bei:

- Ungedüngt: 25,7 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 22,6 g/kg TM
- Stallmistkompost: 21,1 g/kg TM
- NPK: 23,5 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 23,5 g/kg TM

Verglichen mit der ÖAG Futterwerttabelle, welche einen Richtwert von 20 g/kg TM angibt (Resch et al., 2017), liegen die Gehalte des Klee grasfutters beim ersten Aufwuchs in diesem

Versuch in einem guten Bereich. Erwähnenswert hierbei ist die Ungedüngte Variante, welche den höchsten Rohfettgehalt mit 25,7 g/kg TM erzielt.

Der **Rohfasergehalt** des Kleegrases liegt beim Nachwirkungsversuch in den verschiedenen Düngevarianten im ersten Aufwuchs bei:

- Ungedüngt: 216 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 218 g/kg TM
- Stallmistkompost: 235 g/kg TM
- NPK: 218 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 211 g/kg TM

Der optimale Bereich für die Rohfaser beim Kleegrasheu liegt laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) bei rund 320 g/kg TM (Resch et al., 2017). Wie auch bereits beim Kleegrasfutter im Fruchtfolgeversuch, liegen die Gehalte unter diesem optimalen Bereich. Dieses Ergebnis lässt sich dadurch erklären, dass die Flächen im frühen Ähren-/Rispschieben abgeerntet wurden, was wiederum zu einem hohen Blattanteil führt.

Die letzte Fraktion in der Weender Futtermittelanalyse ist die **Rohasche**. Die Gehalte bei den unterschiedlichen Düngevarianten lagen beim ersten Aufwuchs bei:

- Ungedüngt: 158 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 171 g/kg TM
- Stallmistkompost: 174 g/kg TM
- NPK: 157 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 156 g/kg TM

Die Gehalte in diesem Nachwirkungsversuch sind ebenfalls höher als jener Wert, der in der ÖAG Futterwerttabelle (85 g/kg TM) angegeben ist (Resch et al., 2017). Wie bereits erwähnt sind Gehalte über 100 g/kg TM ein Zeichen für erdige Futterverschmutzung, ausgelöst durch Erde oder schlecht verrotteter Wirtschaftsdünger (Buchgraber, 2018).

In der folgenden Tabelle 13 können die einzelnen Mengen- und Spurenelemente in den Düngevarianten sowie der ÖAG Richtwert abgelesen werden.

	Mg (g/kg TM)	Ca (g/kg TM)	K (g/kg TM)	Fe (mg/kg TM)	Zn (mg/kg TM)	Cu (mg/kg TM)	Co (mg/kg TM)
ÖAG Richtwert	2,0	7,8	28,6	290	27,0	7,1	-
Ungedüngt	3,3	20,6	41,0	916,9	30,0	8,9	0,53
Bioabfallkompost	3,6	20,3	47,5	736,8	36,2	9,0	0,43
Stallmistkompost	3,1	17,7	46,7	1.334,2	33,7	9,3	0,78
NPK	2,6	19,1	44,9	641,2	30,3	8,5	0,38
Klärschlammkompost	3,3	19,9	39,8	808,8	27,8	8,8	0,43

Tab. 13: Gehalte an Spuren- und Mengenelemente des Kleeergrasfutters beim ersten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs sowie die ÖAG Richtwerte.

Es ergeben sich ähnliche Gehalte wie beim ersten Aufwuchs des Kleeergrasfutters auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs. Vor allem die Eisenwerte sind sehr stark erhöht. Was wiederum die Annahme von Resch et al. (2009), dass bei einem hohem Rohaschegehalte die Elemente Mg, Ca, K, sowie auch Fe, Co und Cu ebenso erhöht sind, bestätigt (Resch et al., 2009).

3.3.2.2. Mengenelemente

Die Mengenelemente Natrium, Phosphor, Magnesium, Kalium und Calcium werden in dieser Arbeit genauer analysiert. Wobei jedoch Magnesium, Calcium und Kalium bereits bei der Rohasche näher beschrieben wurden und daher hier nicht mehr genauer auf diese Elemente eingegangen wird.

Das Element **Natrium** erzielte in den einzelnen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 222,8 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 205,8 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 178,4 mg/kg TM
- NPK: 176,5 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 303,2 mg/kg TM

Laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) sollte der Gehalt an Natrium im Futter in etwa bei 0,26 g/kg TM liegen (Resch et al., 2017). Umgerechnet auf Milligramm entspricht das rund 260 mg/kg TM. Die Natriumgehalte in diesem Versuch liegen in allen Fraktionen, bis auf der Klärschlammkompostvariante, unter den Sollwerten der Futterwerttabelle. Im Vergleich liegen

die Gehalte beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches (503-685 mg/kg TM) deutlich über den Sollwerten der Futterwerttabelle.

Ein weiteres Element in der Abteilung der Mengenelemente ist der **Phosphor**. Die Gehalte beim ersten Aufwuchs liegen hierbei in folgenden Bereichen:

- Ungedüngt: 4,7 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 5,4 g/kg TM
- Stallmistkompost: 5,1 g/kg TM
- NPK: 5,2 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 4,9 g/kg TM

Als Vergleichswert dient auch hier wieder der Sollwert der ÖAG Futterwerttabelle (2017). Hierbei wird ein Gehalt von rund 3,0 g/kg TM angestrebt (Resch et al., 2017). Die Gehalte in diesem Versuch liegen etwas darüber. Vor allem der Bioabfallkompost weist mit 5,4 g/kg TM sehr gute Gehalte auf. Aber auch die Ungedüngte Variante mit 4,7 g/kg TM erzielt ebenfalls ein gutes Ergebnis.

3.3.2.3. Spurenelemente

Zu dieser Gruppe werden das Eisen, Zink, Kupfer, Mangan, Bor, Kobalt sowie auch Molybdän gezählt. Die Elemente Eisen, Zink, Kupfer und Kobalt wurden bereits in der Fraktion Rohasche näher erläutert und werden daher in diesem Unterkapitel nicht mehr weiterbearbeitet.

Das Element **Mangan** erzielte folgende Gehalte in den verschiedenen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches:

- Ungedüngt: 68 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 65 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 81 mg/kg TM
- NPK: 58 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 58 mg/kg TM

Die ÖAG Futterwerttabelle (2017) gibt einen Richtwert beim Heu aus Klee gras an, dieser liegt bei rund 69 mg/kg TM (Resch et.al, 2017). Die Gehalte in diesem Versuch liegen in etwa um diesen Wert. Die Variante Stallmistkompost mit 81 mg/kg TM hebt sich stärker von den anderen Varianten ab. Erwähnenswert ist die Variante Ungedüngt mit 68 mg/kg TM, welche in diesem Versuch gute Gehalte erzielt.

Ein weiteres Element der Spurenelemente ist **Bor**. Dieses Element erzielte beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 32 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 40 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 30 mg/kg TM
- NPK: 28 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 28 mg/kg TM

Die Gehalte liegen in einem sehr ähnlichen Bereich wie jene des ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs. Das höchste Ergebnis beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches erzielte die Bioabfallkompostvariante mit 40 mg/kg TM.

Molybdän wird ebenso zu den Spurenelementen gezählt und erzielt in diesem Versuch beim ersten Aufwuchs folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 8,3 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 8,5 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 5,8 mg/kg TM
- NPK: 4,9 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 7,9 mg/kg TM

Die Molybdängehalte in diesem Versuch liegen etwas höher als jene des Fruchtfolgeversuches. Die Variante Ungedüngt weist mit 8,3 mg/kg TM im Silomaismonokulturversuch die höchsten Gehalte auf, Variante NPK mit 4,9 mg/kg TM die niedrigsten.

3.3.2.4. Schwermetalle

Das Kleegrasfutter, welches auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs angebaut wurde, ist ebenfalls auf die Schwermetallgehalte untersucht worden. Dabei wurden die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel sowie Zink begutachtet. Wobei Kupfer und Zink bereits im Bereich der Rohasche näher betrachtet wurde und daher in diesem Kapitel nicht mehr aufscheinen.

Das Schwermetall **Blei** erzielte in diesem Nachwirkungsversuch beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte:

-
- Ungedüngt: 1,32 mg/kg TM
 - Bioabfallkompost: 1,15 mg/kg TM
 - Stallmistkompost: 1,61 mg/kg TM
 - NPK: 0,86 mg/kg TM
 - Klärschlammkompost: 1,00 mg/kg TM

Laut der EU-Richtlinien (2002/32/EG) sollten die Bleigehalte für Alleinfuttermittel maximal 5 mg/kg TM annehmen. Für das Grünfutter geht diese Höchstgrenze bis 40 mg/kg TM hinauf (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Die Gehalte des Kleeegrases beim Silomaismonokulturversuch liegen in einem sehr geringen Bereich. Der höchste mittlere Gehalt wurde in der Variante Stallmistkompost mit 1,61 mg/kg TM festgestellt, welcher dennoch in einem mehr als unbedenklichen Bereich liegt.

Das nächste Element, welches zu den Schwermetallen gezählt wird, ist **Cadmium**. Hier ergeben sich folgende Gehalte beim ersten Aufwuchs in den verschiedenen Varianten:

- Ungedüngt: 0,12 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,11 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,16 mg/kg TM
- NPK: 0,11 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 0,12 mg/kg TM

Die EU-Richtlinie (2002/32/RG) sieht für Alleinfuttermittel im Bereich des Cadmiums eine Höchstgrenze von 1 mg/kg TM vor (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Mengel und Kirby (2001) geben einen ähnlichen Wert mit 0,5 bis 1 mg/kg TM für Futterrationen an. Wie auch beim Kleeegrasfutter auf den Fruchtfolgeversuchsflächen (0,138-0,157 mg/kg TM), sind auch die Cadmiumgehalte in diesem Versuch in einem sehr niedrigen Bereich angesiedelt. Die niedrigsten mittleren Gehalte wurden in den Varianten NPK sowie Bioabfallkompost mit 0,11 mg/kg TM festgestellt. Der höchste durchschnittliche Gehalt wurde in der Stallmistkompostvariante mit 0,16 mg/kg TM festgestellt.

Das Element **Chrom** weist beim ersten Aufwuchs des Kleeegrasfutters auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs folgende Gehalte auf:

- Ungedüngt: 1,40 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,99 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 1,63 mg/kg TM
- NPK: 1,11 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 1,23 mg/kg TM

Wie bereits erwähnt, liegen beim Schwermetall Chrom auf EU-Ebene keine Höchstgrenzen für Futtermittel vor (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Eine Quelle, die einen maximalen Bereich für Futtermittel festlegt ist Mengel und Kirkby (2001). Diese legen eine Grenze für Futtermittel von 50 bis 3.000 mg/kg TM fest. Auch bei diesem Aufwuchs wurden keine kritischen Gehalte festgestellt. Weder die Variante Bioabfallkompost mit 0,99 mg/kg TM noch die Variante Klärschlammkompost mit 1,23 mg/kg TM zeigen erhöhte Werte in der Fraktion Chrom.

Das letzte Element im Unterkapitel Schwermetalle ist **Nickel**. Dieses erzielte in den einzelnen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs des Klee-grasfutters folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 1,82 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 1,37 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 2,04 mg/kg TM
- NPK: 1,67 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 1,82 mg/kg TM

Ebenso gibt es bei diesem Schwermetall keine Höchstgrenze für Futtermittel auf EU-Ebene (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Laut Mengel und Kirkby (2001) sollten die Gehalte im Futtermittel maximal 50 bis 60 mg/kg TM aufweisen (Mengel und Kirkby, 2001). In diesem Versuch liegen die mittleren Nickelgehalte alle unter 2,04 mg/kg TM, was verglichen mit Mengel und Kirkby (2001) sehr geringe Gehalte sind. Den höchsten Wert in diesem Versuch weist die Stallmistvariante mit 2,04 mg/kg TM auf.

In der folgenden Tabelle 14 sind die Schwermetallgehalte des Nachwirkungsversuchs den Grenzwerten der EU-Richtlinie 2002/32/EG (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002) sowie den kritischen Konzentrationen von Mengel und Kirkby (2001) gegenübergestellt.

	Cr (mg/kg TM)	Ni (mg/kg TM)	Cd (mg/kg TM)	Pb (mg/kg TM)
EU-Richtlinie: Alleinfuttermittel Grünfutter	- -	- -	1,0 -	5 40
Mengel und Kirkby (2001)	50 – 3.000	50 - 60	0,5 - 1,0	10 - 30
Ungedüngt	1,40	1,82	0,12	1,32
Bioabfallkompost	0,99	1,37	0,11	1,15
Stallmistkompost	1,63	2,04	0,16	1,61
NPK	1,11	1,67	0,11	0,86
Klärschlammkompost	1,23	1,82	0,12	1,00

Tab. 14: Schwermetallgehalte der verschiedenen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs des Klee-grases nach dem Silomaismonokulturversuch in Bärnbach 2019.

Vergleicht man die Schwermetallgehalte vom Klee-grasfutter des ersten Aufwuchs (Silomaismonokulturversuchsflächen) mit jenen des Fruchtfolgeversuches, so lässt sich

erkennen, dass die Gehalte in einem ähnlichen Spektrum angesiedelt sind. Bei keinem einzigen Schwermetall ergab sich ein kritisch anzusehender Gehalt. Weder in der Klärschlammkompostvariante noch in der Bioabfallkompostvariante waren diese auffällig. Zusammenfassend sind in der Tabelle 14 die gesamten Schwermetallgehalte noch einmal aufgelistet.

3.3.3. Nährstoffentzüge über das Erntegut

Auch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs wurden die Nährstoffentzüge beim ersten Kleeegrasaufwuchs ermittelt. Dabei werden die Fraktionen Rohprotein, Stickstoff sowie Phosphor und Kalium genauer betrachtet.

Die mittleren **Rohproteinträge** beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs lagen bei

- Ungedüngt: 187 kg RP / ha
- Bioabfallkompost: 223 kg RP / ha
- Stallmistkompost: 239 kg PR / ha
- NPK: 276 kg RP / ha
- Klärschlammkompost: 245 kg RP / ha

Um den **Stickstoffgehalt** in kg/ha zu erhalten, wird der Rohproteinertrag (kg/ha) durch 6,25 dividiert. Dabei ergeben sich beim ersten Kleeegrasaufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs folgende Stickstoffentzüge:

- Ungedüngt: 30,0 kg N/ha
- Bioabfallkompost: 35,7 kg N/ha
- Stallmistkompost: 38,4 kg N/ha
- NPK: 44,2 kg N/ha
- Klärschlammkompost: 39,2 kg N/ha

Der Leguminosenanteil liegt auf den Parzellen der Silomaismonokulturflächen in etwa wieder bei 70%. Laut Buchgraber (2019) wird pro 1% Leguminosenanteil rund 4 kg Stickstoff pro ha und Vegetationsperiode produziert. Das würde bedeuten, dass beim ersten Aufwuchs ca. 30-40 kg/ha an Stickstoff produziert wurde. Zusätzlich zur N-Fixierung der Leguminosen wird über das Jahr hinweg auch vom Boden Stickstoff mobilisiert. Bei normaler Witterung können dadurch noch ca. 45-50 kg N pro ha geltend gemacht werden (Buchgraber, 2019).

Vergleicht man die Entzüge des ersten Aufwuchses aus diesem Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs mit jenen des Fruchtfolgeversuchsflächen, so liegen jene der Silomaismonokulturflächen etwas darunter. Vor allem die Ungedüngte Variante weist mit 30 kg N/ha die geringsten Entzüge auf. Die höchsten Entzüge ergaben sich in der Variante NPK mit 44,2 kg N/ha. Die Klärschlammkompost- und Stallmistkompostvariante lagen mit 39,2 und 38,4 kg N/ha nicht weit von der Variante NPK entfernt.

Phosphorentzüge

Im Bereich des Phosphors lagen die durchschnittlichen Entzüge beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs bei:

- Ungedüngt: 4,5 kg P/ha
- Bioabfallkompost: 6,6 kg P/ha
- Stallmistkompost: 6,7 kg P/ha
- NPK: 7,1 kg P/ha
- Klärschlammkompost: 6,1 kg P/ha

Die Düngeempfehlung für Phosphor, stellt laut der Sachgerechten Düngung (2017) auch den Nährstoffentzug dar. Die empfohlene Düngemenge für ein kleebetontes Feldfutter liegt bei rund 65 kg/ha und Jahr (BMLFUW, 2017).

In diesem Versuch lagen die Phosphorentzüge beim ersten Aufwuchs zwischen 4,5 und 7,1 kg P/ha. Verglichen mit den Entzügen des Fruchtfolgeversuches (8,30-0,25 kg P/ha), liegen jene des Klee-grasfutters auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches deutlich darunter. Die geringsten Phosphorentzüge erbrachte wieder die Ungedüngte Variante mit 4,5 kg P/ha. Die Klärschlamm- und Bioabfallkompostvarianten (6,1 und 6,6 kg P/ha) zeigten ähnliche Werte auf, wie sie auch beim Stallmistkompost mit 6,7 kg P/ha zu finden sind.

Kaliumentzüge

Ebenso wie für Phosphor, gibt es auch für Kalium eine Düngeempfehlung für ein kleebetontes Feldfutter. Diese Düngeempfehlung stellt wiederum den Nährstoffentzug über die Pflanze dar. Die Düngeempfehlung für das Feldfutter von rund 190 kg K/ha wird auf das ganze Jahr gerechnet (BMLFUW, 2017).

Auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs wurden beim ersten Aufwuchs des Klee-grasfutters folgende Kaliumentzüge ermittelt:

- Ungedüngt: 39,2 kg K/ha
- Bioabfallkompost: 58,5 kg K/ha
- Stallmistkompost: 61,7 kg K/ha

-
- NPK: 61,1 kg K/ha
 - Klärschlammkompost: 49,1 kg K/ha

Die Varianten Stallmistkompost, welche einen Entzug von 61,7 kg K/ha aufweist sowie die Variante NPK mit 61,1 kg K/ha erreichten fast gleich hohe Nährstoffentzüge im Bereich des Kaliums. Den niedrigsten Entzug weist wiederum die Ungedüngte Variante mit 39,2 kg K/ha auf. Verglichen mit den Entzügen auf den Fruchtfolgeversuchsflächen (60,32-80,97 kg K/ha), wurde auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches deutlich weniger Kalium über die Biomasse abtransportiert.

3.4. Ergebnisse des zweiten Aufwuchs auf den Fruchtfolgeversuchsflächen

3.4.1. TM-Erträge beim zweiten Aufwuchs

Für das Kapitel „Ergebnisse des zweiten Aufwuchs auf den Fruchtfolgeversuchsflächen“ werden nicht mehr alle Parameter genau betrachtet. Für die Folgeaufwüchse wurde entschieden, dass nur mehr die TM Erträge, Rohprotein, Phosphor, Chrom, Nickel, Blei und Cadmium sowie der Proteinentzug näher beleuchtet werden.

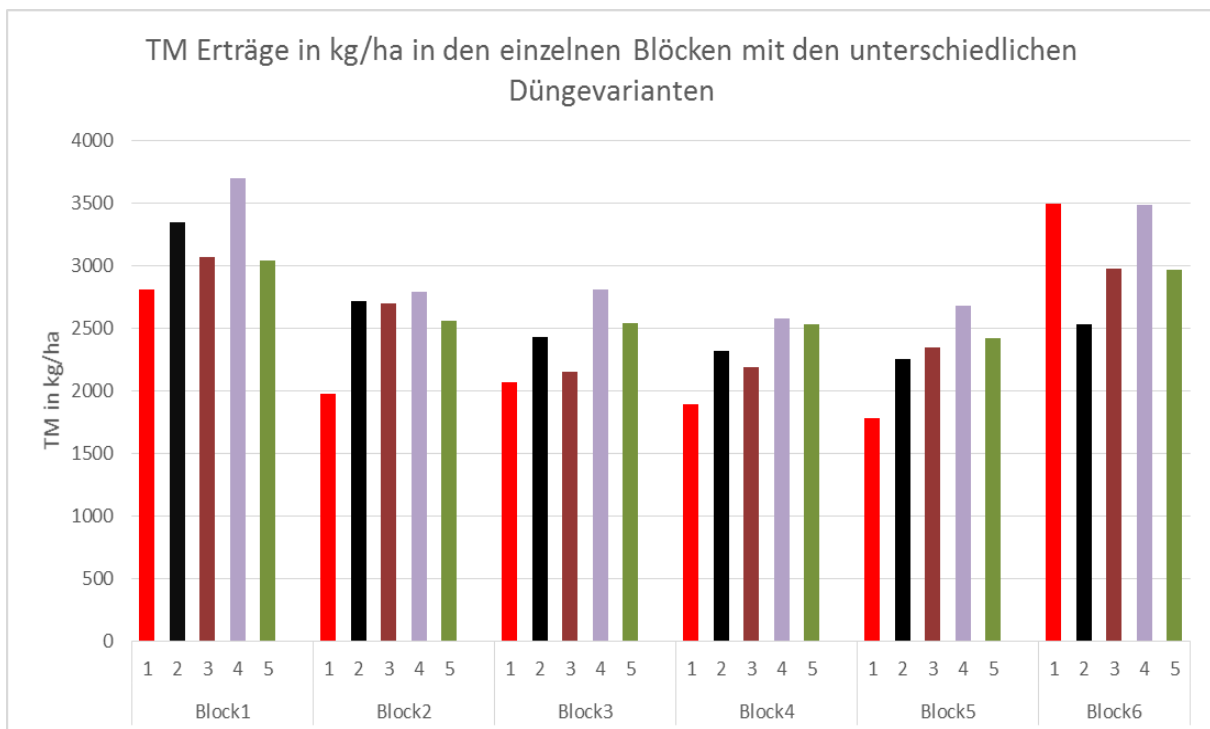


Abb. 27: TM Erträge in kg/ha des zweiten Aufwuchses auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Im Hinblick auf die verschiedenen Düngevarianten sind keine nennenswerten statistischen Unterschiede bei den **TM-Erträgen** des zweiten Aufwuchs festzustellen. Die mittleren TM Erträge liegen bei den einzelnen Düngevarianten bei:

- Ungedüngt: 2.336 kg/ha TM ^a
- Bioabfallkompost: 2.602 kg/ha TM ^a
- Stallmistkompost: 2.572 kg/ha TM ^a
- NPK: 3.008 kg/ha TM ^a
- Klärschlammkompost: 2.677 kg/ha TM ^a

Gegenüber dem ersten Aufwuchs ergibt sich eine deutliche Steigerung des TM-Ertrags. Eine Begründung für diesen Anstieg könnte der hohe Kleeanteil im Bestand sein, welcher zu einer

guten Stickstoffversorgung der Pflanzen führt. In der Variante NPK, welche in der Nachwirkung 3.008 kg TM pro ha erzielte, wurde beim zweiten Aufwuchs der beste TM-Ertrag ermittelt. Zwar weist die Ungedüngte Variante mit 2.336 kg TM/ha die niedrigsten durchschnittlichen Erträge auf, jedoch kann diese dennoch mit den üblichen Erträgen im Feldfutterbau mithalten. Wiederum ist in dieser Variante zu erkennen, dass trotz des Ausbleibens der Nährstoffe über Jahre hinweg, die Bodenfruchtbarkeit durch eine ausgeglichene Fruchtfolge gut erhalten bleibt. Hingegen ist auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches die Bodenfruchtbarkeit aufgrund der langjährigen Monokultur als schlechter anzusehen.

3.4.2. Inhaltsstoffe des zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs

3.4.2.1. Rohprotein

Für die Fraktion **Rohprotein** ergab sich beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs kein signifikanter Unterschied zwischen den Düngevarianten. Der p-Wert für diesen Parameter liegt bei 0,273. Dabei sind folgende mittlere Rohproteingehalte (g/kg TM) in den einzelnen Düngevarianten festgestellt worden:

- Ungedüngt: 186 g/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 178 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 175 g/kg TM ^a
- NPK: 179 g/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 175 g/kg TM ^a

Laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) wird für Heu aus Klee-grasfütter ein Rohproteingehalt von 130 g/kg TM angestrebt. Diese Daten entsprechen dem ersten Aufwuchs, für den zweiten und dritten Aufwuchs liegen in der ÖAG Futterwerttabelle (2017) keine Werte vor (Resch et al., 2017). Daher werden hier als Vergleich die Werte des ersten Aufwuchs herangezogen. Beim zweiten Aufwuchs des Klee-grases auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches lagen die Werte mit 175 bis 186 g/kg TM etwas über den Richtwert der Futterwerttabelle. Wiederum erstaunlich ist, dass hierbei die Ungedüngte Variante den besten durchschnittlichen Rohproteingehalt mit 186 g/kg TM aufweist. Aber auch die Bioabfallkompost- sowie die Klärschlammkompostvariante zeigten gute Rohproteingehalte auf. Die Rohproteingehalte in diesem zweiten Aufwuchs können durch die starke Kleewüchsigkeit in den Parzellen erklärt werden.

In der folgenden Abbildung 28 kann man die Spannweite der Rohproteingehalte (g/kg TM) in den verschiedenen Düngevarianten erkennen.

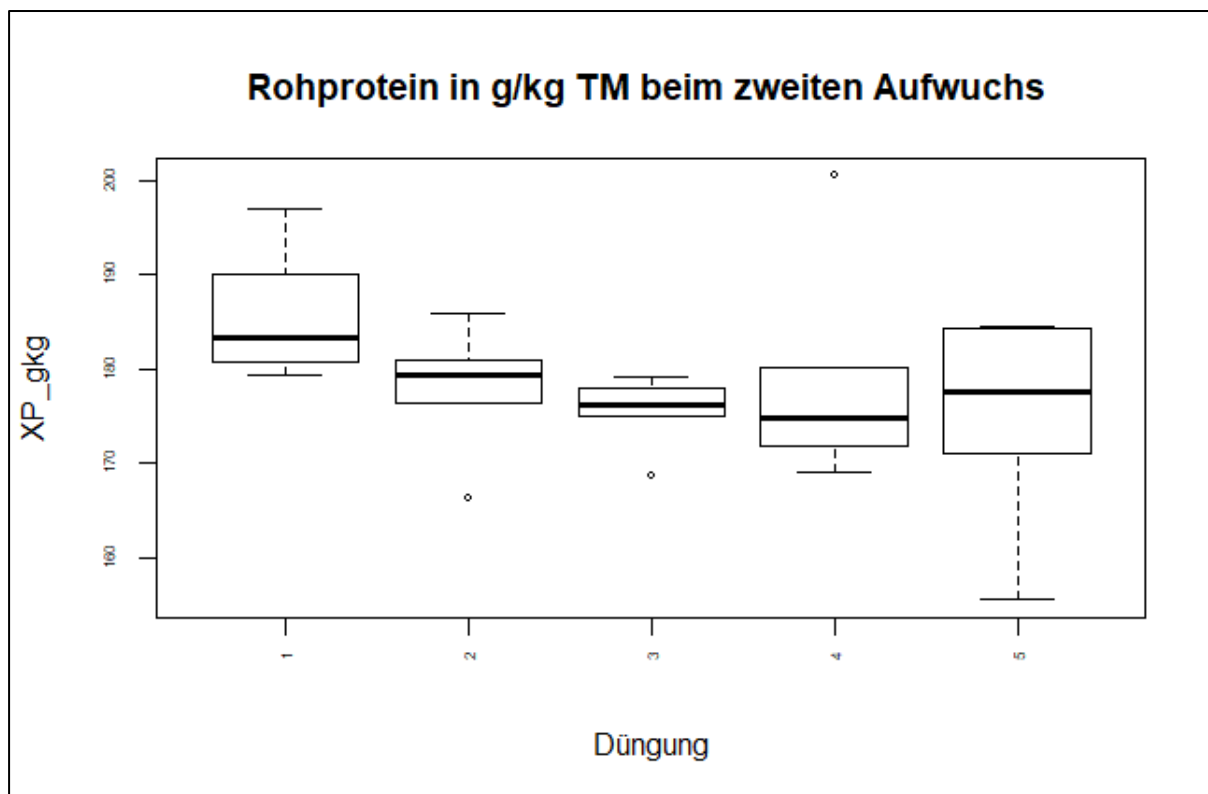


Abb. 28: Rohproteingehalte des zweiten Aufwuchses (Kleegras) in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019.

3.4.2.2. Phosphor

Beim Mengenelement **Phosphor** ergibt sich im Klee grasfütter des zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches kein signifikanter Unterschied zwischen den Düngevarianten, da der p-Wert bei 0,762 liegt. Es wurde hierbei von einem Signifikanzniveau von 0,05 ausgegangen. Im Bereich des Phosphors ergaben sich folgende mittlere Gehalte in g/kg TM:

- Ungedüngt: 3,57 g/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 3,53 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 3,50 g/kg TM ^a
- NPK: 3,48 g/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 3,48 g/kg TM ^a

Ebenso wie beim Rohprotein wird auch beim Phosphor der Sollwert des ersten Aufwuchs herangezogen. Dieser liegt laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) bei 3,0 g/kg TM (Resch et al., 2017). Die Werte des zweiten Aufwuchs des Klee grasfutters liegen etwas über dem Richtwert. Jedoch ist gegenüber dem ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches eine Abnahme zu verzeichnen, da hier der Phosphorgehalt zwischen

5,1 und 5,6 g/kg TM liegt. Wiederum den höchsten Phosphorgehalt erzielte die Ungedüngte Variante mit 3,57 g/kg TM.

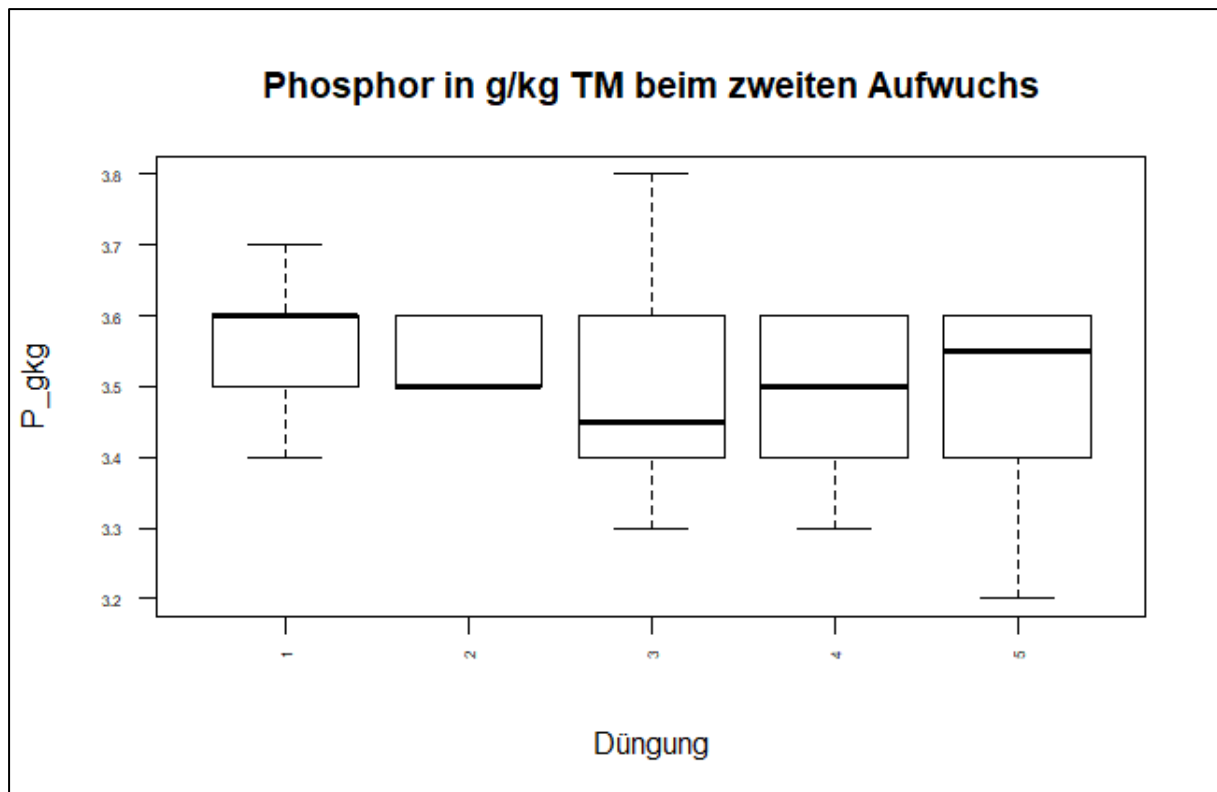


Abb. 29: Phosphorgehalte in g/kg TM des Kleeegrases beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.

3.4.2.3. Schwermetalle

Im Bereich der Schwermetalle werden die Elemente Chrom, Nickel, Cadmium und Blei näher betrachtet.

Das erste Element **Chrom**, weist bei der statistischen Auswertung keinen signifikanten Unterschied zwischen den Düngevarianten auf. Hierbei wird von einem Signifikanzniveau von 0,05 ausgegangen. Der dazugehörige p-Wert für dieses Modell liegt bei 0,835. Beim zweiten Aufwuchs des Nachwirkungsversuches auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches ergeben sich folgende durchschnittlichen Chromgehalte in den verschiedenen Düngevarianten:

- Ungedüngt: 0,453 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,365 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 0,488 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,397 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 0,442 mg/kg TM ^a

Laut Mengel und Kirkby (2001) sollte der Gehalt an Chrom in Futterrationen nicht über 3.000 mg/kg TM überschreiten. Für die Pflanze selbst geben Sie einen Höchstgehalt von 1 bis 2 mg/kg TM an. Die durchschnittlichen Chromgehalte im Kleegrasfutter liegen beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches deutlich unter den Maximalgrenzen. Sieht man sich das Boxplot in der folgenden Abbildung 30 genauer an, so lässt sich erkennen, dass auch die maximalen Gehalte des zweiten Aufwuchs in keiner der Düngevarianten den Grenzwert überschreiten. Weiters ist zu erwähnen, dass sich gegenüber dem ersten Aufwuchs (0,99-1,40 mg/kg TM) eine Verringerung der durchschnittlichen Chromgehalte ergibt.

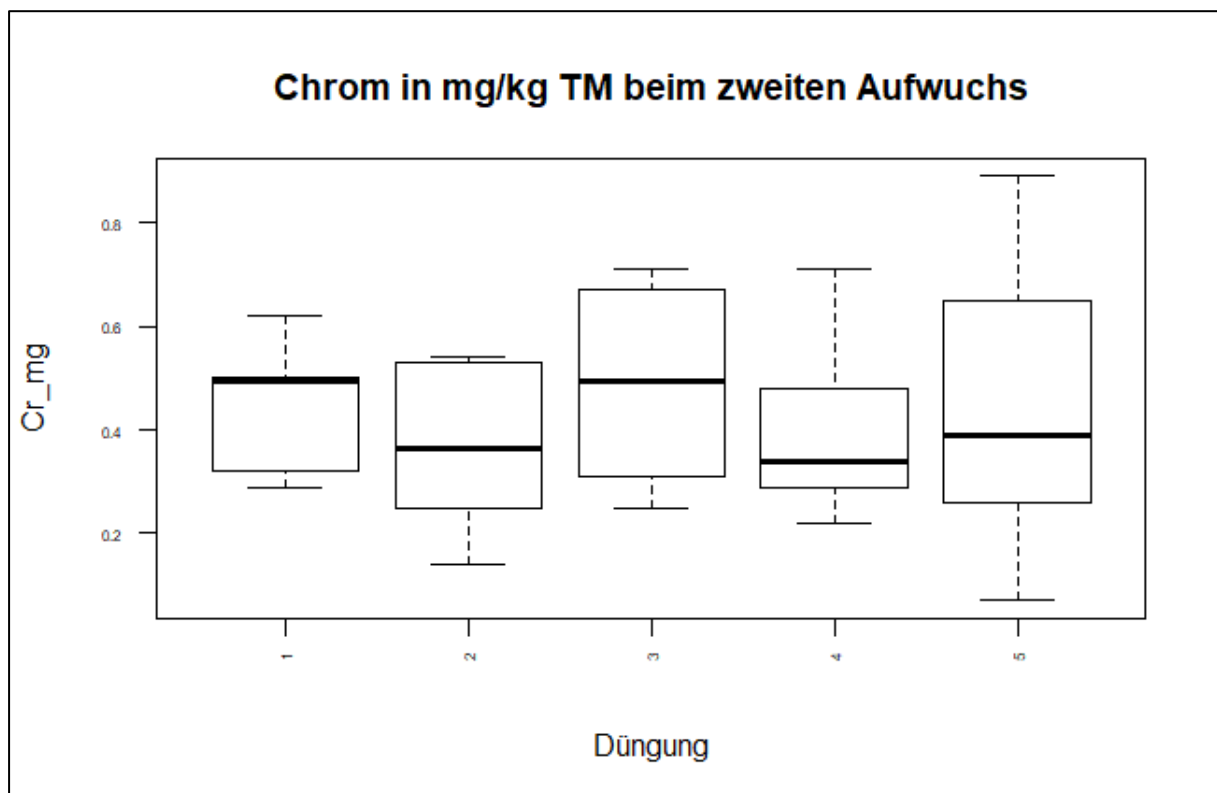


Abb. 30: Chromgehalte in mg/kg TM des Kleegrases beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches im Jahr 2019 in Bärnbach.

Ein weiteres Schwermetall, welches in dieser Arbeit betrachtet wird, ist **Nickel**. Ebenso wie bei Chrom ergibt sich auch bei dieser statistischen Auswertung kein signifikanter Unterschied zwischen den Düngevarianten. Der p-Wert für dieses Modell liegt bei 0,975. Die durchschnittlichen Nickelgehalte liegen beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches bei:

- Ungedüngt: 1,017 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,952 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 1,003 mg/kg TM ^a
- NPK: 1,018 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 1,003 mg/kg TM ^a

Der Höchstgehalt laut Mengel und Kirkby (2001) liegt bei Nickel für Futterrattenen im Bereich zwischen 50 und 60 mg/kg TM (Mengel und Kirkby, 2001). Keine der fünf Varianten erreicht diesen Grenzwert, wie man eindeutig in der nächsten Abbildung 31 erkennen kann. Den höchsten mittlere Nickelgehalt im Nachwirkungsversuch, wurde in der Variante NPK mit 1,018 mg/kg TM festgestellt. Gegenüber dem ersten Aufwuchs kam es zu einer leichten Verringerung des Nickelgehaltes in allen Varianten.

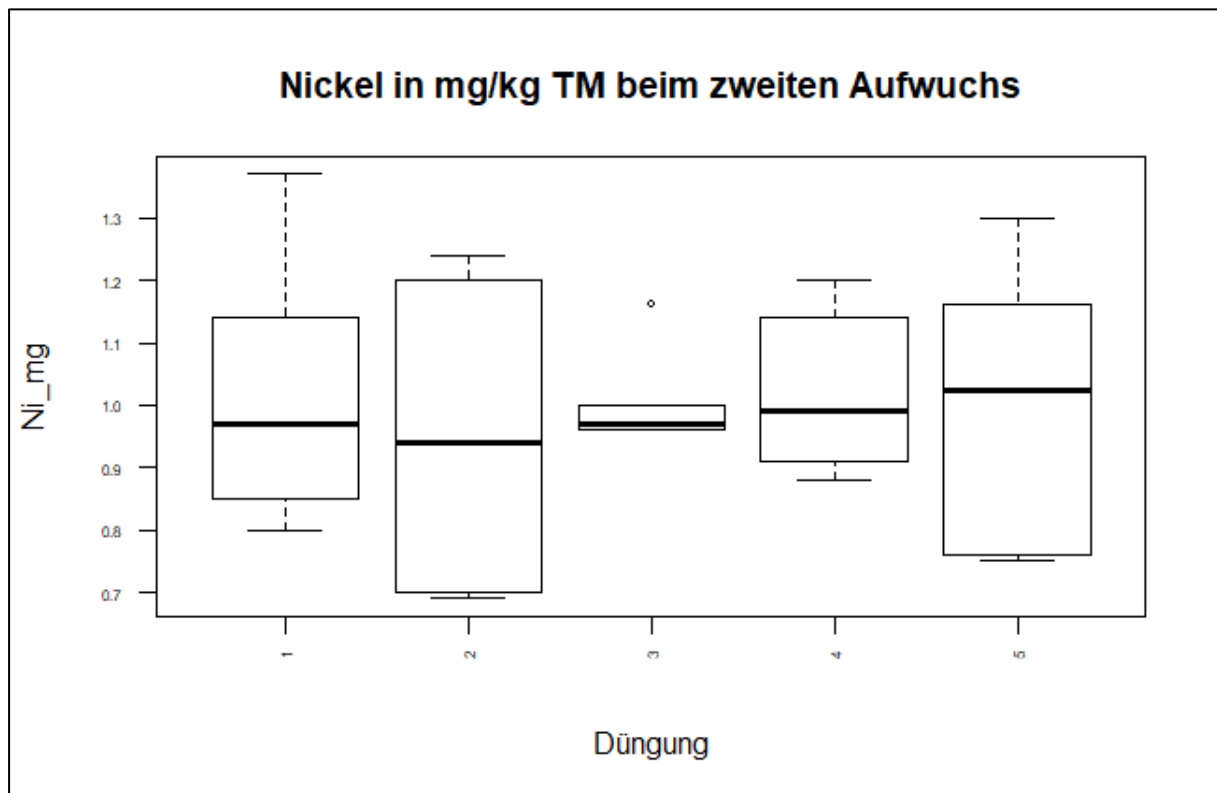


Abb. 31: Nickelgehalte in mg/kg TM des Klee-grasfutters beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.

Das Schwermetall **Blei** zeigt bei der statistischen Auswertung zwischen den einzelnen Düngevarianten keinen signifikanten Unterschied. Der p-Wert für dieses Modell liegt bei 0,863. Die durchschnittlichen Bleigehalte beim zweiten Aufwuchs liegen in den einzelnen Düngevarianten bei:

- Ungedüngt: 0,503 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,482 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 0,513 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,432 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 0,403 mg/kg TM ^a

Wie bereits beim ersten Aufwuchs erwähnt, gibt es auf EU-Ebene eine Höchstgrenze für Blei in Futtermittel. Für Einzelfuttermittel liegt diese bei 5 mg/kg TM und für Grünfutter bei 40 mg/kg TM (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Mengel und Kirkby (2001) geben einen Grenzwert von 10 bis 30 mg/kg TM in der Futterration an (Mengel und Kirkby, 2001). Vergleicht man die beiden Höchstgrenzen aus der Literatur mit jenen Bleigehalten in diesem Versuch, erkennt man, dass die Bleigehalte im Klee grasfutter des zweiten Aufwuchs sehr gering sind. Der geringste mittlere Bleigehalt mit 0,403 mg/kg TM wurde in der Klärschlammkompostvariante festgestellt.

In der folgenden Abbildung 32 werden die Bleigehalte der fünf Düngewarianten aufgezeigt.

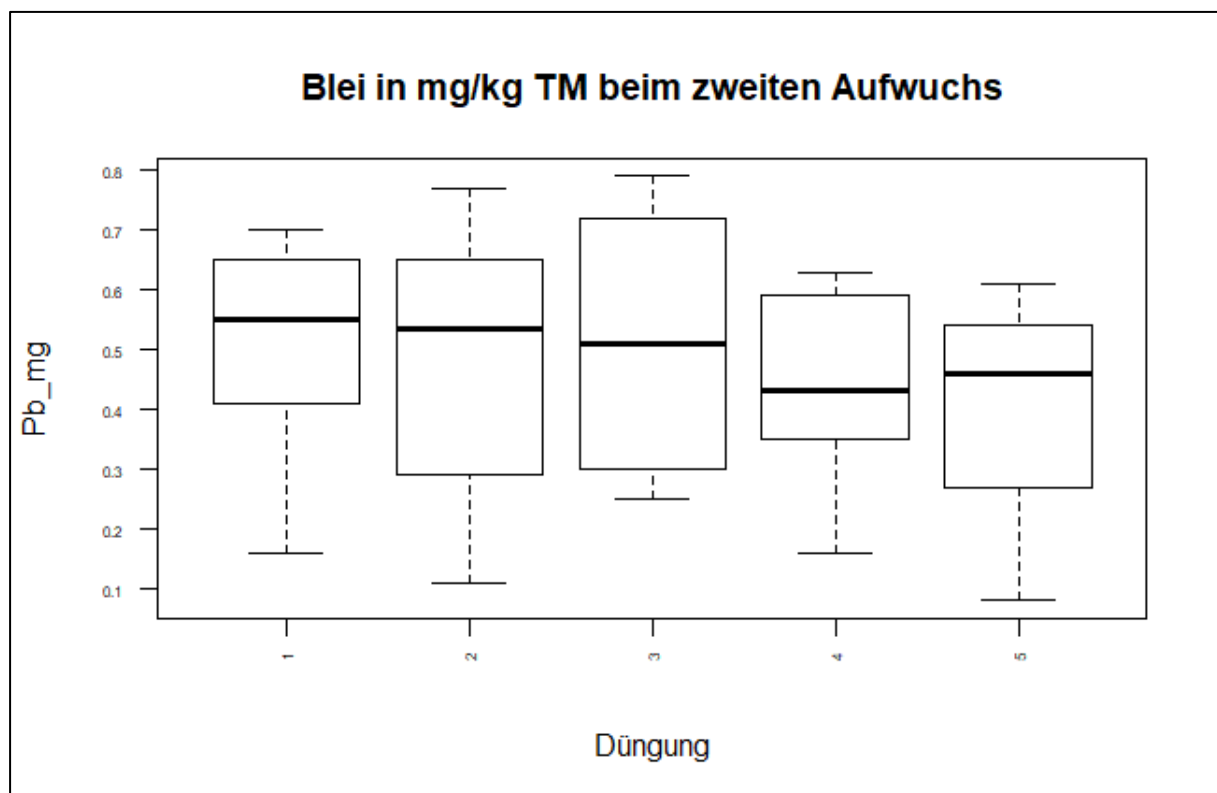


Abb. 32: Bleigehalte in mg/kg TM des Klee grasfutters beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.

Das letzte Schwermetall, welches in diesem Kapitel bearbeitet wird, ist **Cadmium**. Für dieses Schwermetall liegt keine Normalverteilung der Daten vor. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde bei diesem Element der Kruskal-Wallis-Test angewendet, um die Unterschiede in den Cadmiumgehalten festzustellen. Hierbei wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Düngewarianten festgestellt, da der p-Werte bei 0,9125 liegt. Für den zweiten Aufwuchs ergeben sich folgenden durchschnittlichen Cadmiumgehalten:

- Ungedüngt: 0,043 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,038 mg/kg TM ^a

- Stallmistkompost: 0,043 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,042 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 0,042 mg/kg TM ^a

Für Cadmium ist der Höchstgehalt niedriger als für das Schwermetall Blei. Im Bereich der Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen wird ein Höchstwert von 1 mg/kg TM festgelegt (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Die Höchstgrenze von Mengel und Kirkby (2001) liegt in einem sehr ähnlichen Bereich, wie jene des EU-Gesetzes. Genauer gesagt bei 0,5 bis 1 mg/kg TM (Mengel und Kirkby, 2001). Keines der fünf Düngevarianten überschreitet die Höchstgehalte aus der Literatur, was wiederum bedeutet, dass bei der Verfütterung des Klee-grasfutters des zweiten Aufwuchses keine Gefahr hinsichtlich des Schwermetalls Cadmium ausgeht. Verglichen mit dem ersten Aufwuchs der Fruchtfolgeversuchsflächen, wo Cadmiumgehalte zwischen 0,11 bis 0,16 mg/kg TM ermittelt wurden, weist das Klee-grasfutter des zweiten Aufwuchses mit Werten von 0,038 bis 0,042 mg/kg TM noch geringere Gehalte auf.

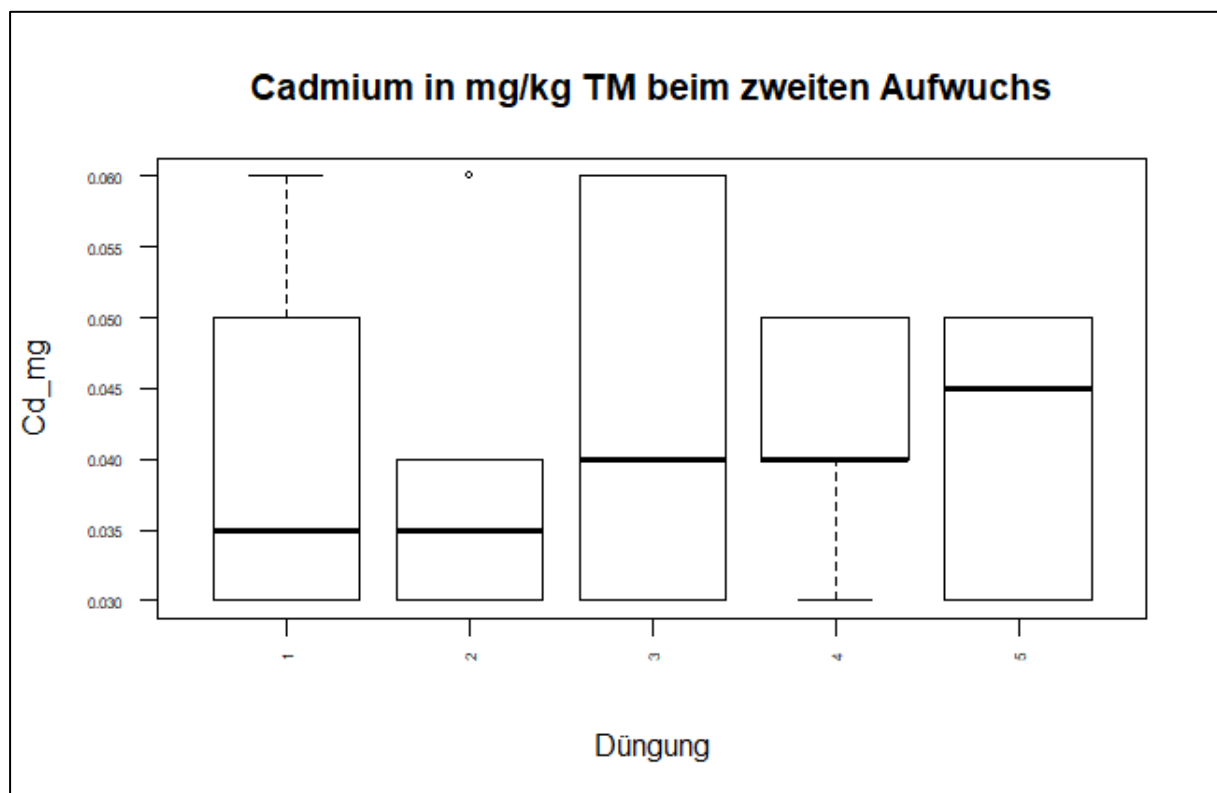


Abb. 33: Cadmiumgehalt in mg/kg TM des Klee-grasfutters beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.

In der folgenden Tabelle 15 werden die Schwermetalle, welche in diesem Versuch ermittelt wurden, aufgelistet und den Höchstgrenzen aus der Literatur gegenübergestellt.

	Cr (mg/kg TM)	Ni (mg/kg TM)	Cd (mg/kg TM)	Pb (mg/kg TM)
EU-Richtlinie: Alleinfuttermittel Grünfutter	- -	- -	1,0 -	5 40
Mengel und Kirkby (2001)	50 – 3.000	50 - 60	0,5 - 1,0	10 - 30
Ungedüngt	0,453	1,017	0,040	0,503
Bioabfallkompost	0,365	0,952	0,038	0,482
Stallmistkompost	0,488	1,003	0,043	0,513
NPK	0,397	1,018	0,042	0,432
Klärschlammkompost	0,442	1,003	0,042	0,403

Tab. 15: Auflistung der durchschnittlichen Schwermetallgehalte des zweiten Aufwuchses in den einzelnen Düngevarianten (Nachwirkung) welche mit der EU-Richtlinie sowie mit Mengel und Kirkby (2001) verglichen werden.

Wie bereits beim ersten Aufwuchs festzustellen war, zeigt sich auch beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in der Nachwirkung in keiner Schwermetallfraktion ein kritischer Wert. Es ist ebenfalls zu erkennen, dass die Gehalte der Schwermetalle im zweiten Aufwuchs niedriger sind. Weiters ist zu erwähnen, dass bezogen auf die Schwermetallgehalte nicht immer Klärschlamm- und Bioabfallkompost die höchsten mittleren Werte aufweisen. Beispielsweise hat Nickel in der NPK Variante beim zweiten Aufwuchs den höchsten Gehalt mit 1,018 mg/kg TM. Dadurch lässt sich darauf schließen, dass Schwermetalle auch aus der Umwelt (z.B. durch Autoabgase, Industrie) in den Boden eingetragen werden. Weiters können Schwermetalle bereits geogen bedingt im Boden vorliegen (Amelung et al., 2018).

3.4.3. Nährstoffentzug über das Erntegut

Für die Fraktion **Rohproteinentzug** beim zweiten Aufwuchs liegt keine Normalverteilung der Daten vor, daher wurde für diesen Parameter der Kruskal-Wallis-Test angewendet, um Unterschiede zwischen den Düngevarianten festzustellen. Dabei wurde ein p-Wert von 0,2699 für dieses Modell ermittelt. Beim zweiten Aufwuchs des Kleeegrases auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs ergeben sich folgende *Rohproteinentzüge*:

- Ungedüngt: 343 kg RP/ha ^a
- Bioabfallkompost: 464 kg RP/ha ^a
- Stallmistkompost: 452 kg RP/ha ^a
- NPK: 537 kg RP/ha ^a
- Klärschlammkompost: 470 kg RP/ha ^a

Gegenüber dem ersten Aufwuchs ist eine deutliche Steigerung der Rohproteinträge zu verzeichnen. Dies ist dadurch zu begründen, dass beim zweiten Aufwuchs ein höherer TM-Ertrag erzielt wurde. Weiters ist in den Flächen auch ein hoher Kleeanteil zu erkennen, wodurch ebenso gute Rohproteingehalte erzielt werden.

Um auf den *Stickstoffentzug* pro ha zu kommen, wird der Rohproteintrag in kg/ha durch 6,25 dividiert. Dabei ergeben sich folgende Entzüge für den zweiten Aufwuchs:

- Ungedüngt: 54,88 kg N/ha
- Bioabfallkompost: 74,24 kg N/ha
- Stallmistkompost: 72,32 kg N/ha
- NPK: 85,92 kg N/ha
- Klärschlammkompost: 75,20 kg N/ha

Wie bereits beim ersten Aufwuchs, zeigt die Variante NPK mit 85,92 kg N/ha auch beim zweiten Aufwuchs des Klee-grasfutters die höchsten Stickstoffentzüge. Die Ungedüngte Variante weist mit 54,88 kg N/ha wiederum den niedrigsten Entzug auf, dennoch ist gegenüber dem ersten Aufwuchs (30,0 kg N/ha) eine Steigerung zu verzeichnen. Der hohe Kleeanteil von über 75% beim zweiten Aufwuchs, versorgt das Klee-grasfutter mit ausreichend Stickstoff. Aufgrund dieser guten Stickstoffversorgung ist auch ein höherer TM-Ertrag sowie Rohproteingehalt in den Flächen erzielt worden.

3.5. Ergebnisse des zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs

3.5.1. TM-Erträge beim zweiten Aufwuchs

Wie bereits beim zweiten Aufwuchs von den Flächen des Fruchtfolgeversuches, werden auch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches nur mehr die Fraktionen TM-Erträge, Rohprotein, Phosphor sowie Chrom, Nickel, Blei und Cadmium und der Proteinentzug über das Erntegut näher betrachtet.

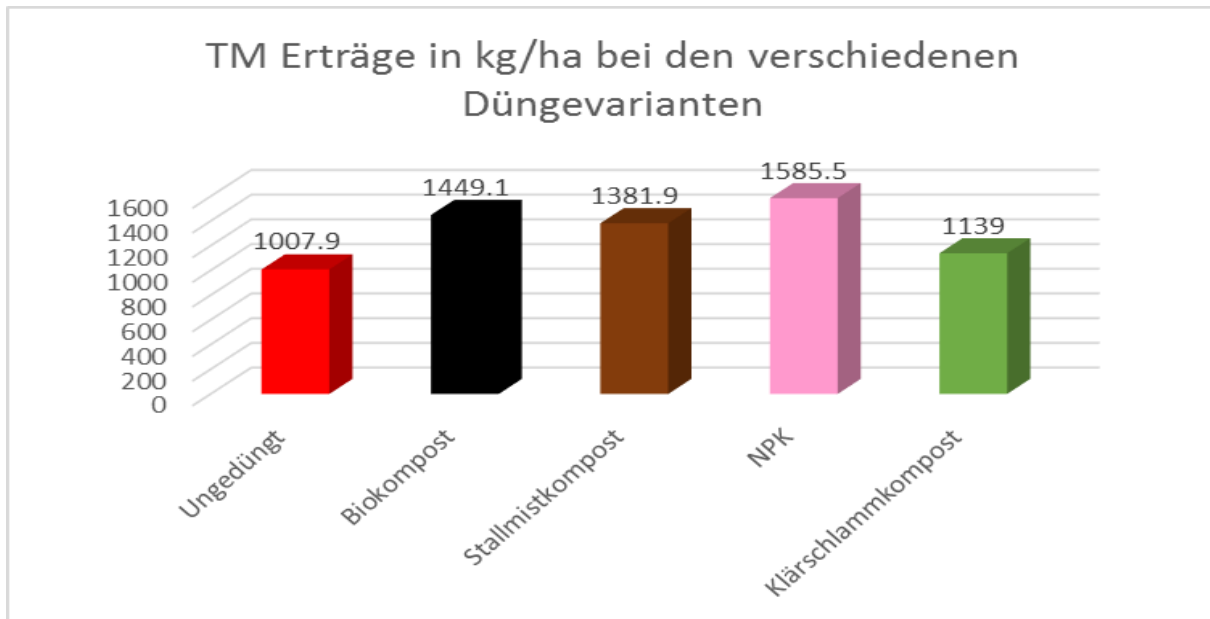


Abb. 34: TM-Erträge des zweiten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Folgende TM-Erträge wurden beim zweiten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch erzielt:

- Ungedüngt: 1.007 kg/ha
- Bioabfallkompost: 1.449 kg/ha
- Stallmistkompost: 1.382 kg/ha
- NPK: 1.585 kg/ha
- Klärschlammkompost: 1.139 kg/ha

Die TM-Erträge sind gegenüber dem ersten Aufwuchs (956-1363 kg TM/ha) gestiegen, jedoch verglichen mit den üblichen Erträgen im Feldfutterbau immer noch niedrig. Begründung ist auch hier wiederum der langjährige Silomaisanbau auf den Flächen. In diesem Nachwirkungsversuch ist deutlich zu erkennen, dass die Bodenfruchtbarkeit durch die langjährige Monokultur stark vermindert wurde. Vor allem der TM-Ertrag in der Ungedüngten Variante liegt mit 1.007 kg TM/ha in einem sehr niedrigen Bereich. Das beste Ergebnis in diesem Versuch erzielte wiederum die Variante NPK mit 1.585 kg TM/ha.

3.5.2. Inhaltsstoffe des zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaisversuchs

3.5.2.1. Rohprotein

Beim zweiten Aufwuchs des Kleegrases auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches ergeben sich folgende **Rohproteingehalte**:

- Ungedüngt: 161 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 185 g/kg TM
- Stallmistkompost: 185 g/kg TM
- NPK: 168 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 160 g/kg TM

In der ÖAG Futterwerttabelle (2017) wird für Heu aus Kleegrasfutter ein Richtwert von 130 g/kg TM angegeben (Resch et al., 2017). Die Werte beim zweiten Aufwuchs liegen deutlich darüber. Jedoch ist gegenüber dem ersten Aufwuchs, in dem Gehalte von 181 bis 202 g/kg TM erzielt wurden, eine Abnahme der Rohproteingehalte zu verzeichnen. Die besten Rohproteingehalte beim zweiten Aufwuchs ergeben sich mit 185 g/kg TM in der Bioabfall- sowie in der Stallmistkompostvariante. Die dennoch guten Gehalte im zweiten Aufwuchs lassen sich wiederum durch den hohen Kleeanteil von über 75% im Pflanzenbestand erklären.

3.5.2.2. Phosphor

Im Bereich des **Phosphors** ergaben sich beim zweiten Aufwuchs des Kleegrases folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 3,6 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 3,8 g/kg TM
- Stallmistkompost: 3,7 g/kg TM
- NPK: 3,7 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 3,7 g/kg TM

Der Richtwert laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) wird mit 3,0 g/kg TM angesetzt (Resch et al., 2017). Die Gehalte des zweiten Aufwuchs liegen in diesem Versuch darüber, jedoch ist gegenüber dem ersten Aufwuchs, in dem Gehalte von 4,7 bis 5,4 g/kg TM erzielt wurden, eine Abnahme zu verzeichnen. Das beste Ergebnis in diesem Aufwuchs erzielte mit 3,8 g/kg TM die Bioabfallkompostvariante. Die Varianten Klärschlamm- und Stallmistkompost sowie die NPK Variante liegen mit 3,7 g/kg TM jedoch nicht sehr weit entfernt von der Bioabfallkompostvariante.

3.5.2.3. Schwermetalle

Wie bereits erwähnt, werden bei den Schwermetallen die Elemente Chrom, Nickel, Cadmium und Blei im Futter näher beleuchtet.

Für **Chrom** ergaben sich beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 0,25 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,35 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,23 mg/kg TM
- NPK: 0,19 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 0,26 mg/kg TM

Vergleicht man die Chromgehalte des ersten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches mit jenen des zweiten Aufwuchses, so ist eine Abnahme zu erkennen. Beim ersten Aufwuchs lagen die Chromgehalte zwischen 0,99 und 1,63 mg/kg TM. Laut Mengel und Kirkby (2001) liegt die kritische Konzentration von Chrom für Futterratten zwischen 50 und 3.000 mg/kg TM (Mengel und Kirkby, 2001). In diesem Versuch liegen die mittleren Gehalte weit unter dieser kritischen Konzentration. Der höchste mittlere Gehalt wurde in der Variante Bioabfallkompost mit 0,35 mg/kg TM erfasst. Nimmt man die 50 mg/kg TM von Mengel und Kirkby (2001) als Grenzwert an, so liegt der mittlere Gehalt der Variante Bioabfallkompost rund 99% unter diesem Grenzwert.

Nickel, ein weiteres Schwermetall, weist beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte auf:

- Ungedüngt: 1,01 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 1,04 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,85 mg/kg TM
- NPK: 1,00 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 1,04 mg/kg TM

Ebenso wie bei Chrom, ergibt sich auch bei Nickel beim zweiten Aufwuchs eine Abnahme des Gehalts. Die Nickelwerte lagen beim ersten Aufwuchs zwischen 1,37 und 2,04 mg/kg TM. Laut Mengel und Kirkby (2001) sollte der Nickelgehalt in Futterratten nicht über 50 bis 60 mg/kg TM hinausgehen (Mengel und Kirkby, 2001). Der höchste Gehalt wird in der Variante Klärschlammkompost mit 1,04 mg/kg TM ermittelt. In Prozent ausgedrückt liegt der mittlere Gehalt der Klärschlammkompostvariante um 97,9% unter dem Grenzwert von 50 mg/kg TM.

Im Bereich von **Blei** ergaben sich beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 0,31 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,57 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,24 mg/kg TM
- NPK: 0,29 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 0,40 mg/kg TM

Wie bereits beim ersten Aufwuchs erwähnt, gibt es für Blei auf EU-Ebene eine gesetzliche Grenze für Futtermittel. Für Grünfutter liegt diese bei 40 mg/kg TM und bei Alleinfuttermittel bei 5 mg/kg TM (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). In keiner einzigen Düngevariante weist das Klee grasfutter eine Konzentration auf, die in die Nähe des Grenzwertes kommt. Mengel und Kirkby (2001) geben ähnliche Grenzwerte für Futterrationen an. Hierbei liegt die kritische Konzentration von Blei für Futterrationen zwischen 10 und 30 mg/kg TM (Mengel und Kirkby, 2001). Weiters ist zu erwähnen, dass gegenüber dem ersten Aufwuchs bei allen Varianten eine Abnahme zu verzeichnen ist. Da beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches die Gehalte zwischen 0,86 und 1,61 mg/kg TM lagen. Wiederum das höchste Ergebnis wurde in der Bioabfallkompostvariante mit 0,57 mg/kg TM festgestellt. Nimmt man den Wert von 5 mg/kg TM für Alleinfuttermittel als Grenzwert an, so ist zu erkennen, dass die Bioabfallkompostvariante rund 88% unter dem Grenzwert liegt.

Das letzte Schwermetall, **Cadmium**, ergibt bei der Analyse des Klee grasfutters in der Nachwirkung folgende Gehalte in den einzelnen Düngevarianten:

- Ungedüngt: 0,03 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,03 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,03 mg/kg TM
- NPK: 0,04 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 0,04 mg/kg TM

Der gesetzliche Grenzwert in der EU für Alleinfuttermittel liegt für Cadmium bei 1,0 mg/kg TM (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Mengel und Kirkby (2001) geben für Futterrationen eine kritische Konzentration von 0,5 bis 1 mg/kg TM an (Mengel und Kirkby, 2001). Wiederum sind die Gehalte aus diesem Nachwirkungsversuch weit entfernt von den Grenzwerten aus der Literatur. Die Gehalte in diesem Versuch liegen rund 96 bis 97% unter dem Grenzwert für Alleinfuttermittel von 1,0 mg/kg TM. Weiters ist zu erwähnen, dass sich auch bei diesem Schwermetall eine Abnahme der Gehalte gegenüber dem ersten Aufwuchs (0,11 bis 0,16 mg/kg TM) ergibt.

In der folgenden Tabelle 16 sind die Schwermetallgehalte der einzelnen Düngevarianten des zweiten Aufwuchses des Nachwirkungsversuches zusammengefasst und wiederum den Grenzwerten aus der Literatur gegenübergestellt.

	Cr (mg/kg TM)	Ni (mg/kg TM)	Cd (mg/kg TM)	Pb (mg/kg TM)
EU-Richtlinie: Alleinfuttermittel Grünfutter	- -	- -	1,0 -	5 40
Mengel und Kirkby (2001)	50 – 3.000	50 - 60	0,5 - 1,0	10 - 30
Ungedüngt	0,25	1,01	0,03	0,31
Bioabfallkompost	0,35	1,04	0,03	0,57
Stallmistkompost	0,23	0,85	0,03	0,24
NPK	0,19	1,00	0,04	0,29
Klärschlammkompost	0,26	1,04	0,04	0,40

Tab. 16: Schwermetallgehalte des zweiten Aufwuchses als Nachwirkung der langjährigen Düngevarianten auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Wie bereits auch beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches, geht auch hier keine Gefahr bei der Verfütterung des Kleeegrases, bezogen auf die Schwermetallgehalte, aus. Alle Schwermetallfraktionen befinden sich unter den Grenzwerten, welche in der Literatur angegeben sind

3.5.3. Nährstoffentzug über das Erntegut

Die **Rohproteinträge** lagen beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches wie folgt vor:

- Ungedüngt: 162,2 kg RP/ha
- Bioabfallkompost: 267,9 kg RP/ha
- Stallmistkompost: 256,3 kg RP/ha
- NPK: 266,9 kg RP/ha
- Klärschlammkompost: 182,2 kg RP/ha

Gegenüber dem ersten Aufwuchs ist in einigen Varianten eine Abnahme zu verzeichnen, was wiederum bedeutet, dass beim zweiten Aufwuchs weniger Rohprotein über das Erntegut von der Fläche abtransportiert wurde. Dennoch liegen die Rohproteingehalte in einem hohen Bereich vor. Der geringste Rohproteintrag wurde in der Variante Ungedüngt mit 162,2 kg RP/ha ermittelt. Wiederum der höchste Rohproteintrag lag mit 167,9 kg RP/ha in der Bioabfallkompostvariante vor.

Um den Stickstoffgehalt im Erntegut zu erhalten, wird der Rohproteinерtrag in kg/ha durch 6,25 dividiert. Dabei werden beim zweiten Aufwuchs des Klee­grases folgende Stickstoffentzüge festgestellt:

- Ungedüngt: 25,95 kg N/ha
- Bioabfallkompost: 42,86 kg N/ha
- Stallmistkompost: 41,00 kg N/ha
- NPK: 42,70 kg N/ha
- Klärschlammkompost: 29,15 kg N/ha

In den Varianten Bioabfallkompost mit 42,86 kg N/ha und Stallmistkompost mit 41,00 kg N/ha zeigt sich, dass der Stickstoffentzug höher ist als gegenüber dem ersten Aufwuchs. Hingegen kam es in den restlichen Varianten zu einer Verringerung des Stickstoffentzuges.

3.6. Ergebnisse des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs

3.6.1. TM-Erträge beim dritten Aufwuchs

Wie bereits beim zweiten Aufwuchs, wird auch beim dritten Aufwuchs nur mehr der TM-Ertrag, Rohprotein, Phosphor, die Schwermetalle Chrom, Nickel, Blei und Cadmium sowie der Nährstoffentzug im Bereich von Rohprotein näher betrachtet.

In der folgenden Abbildung 35 können die verschiedenen TM-Erträge der einzelnen Düngevarianten vom dritten Aufwuchs abgelesen werden.

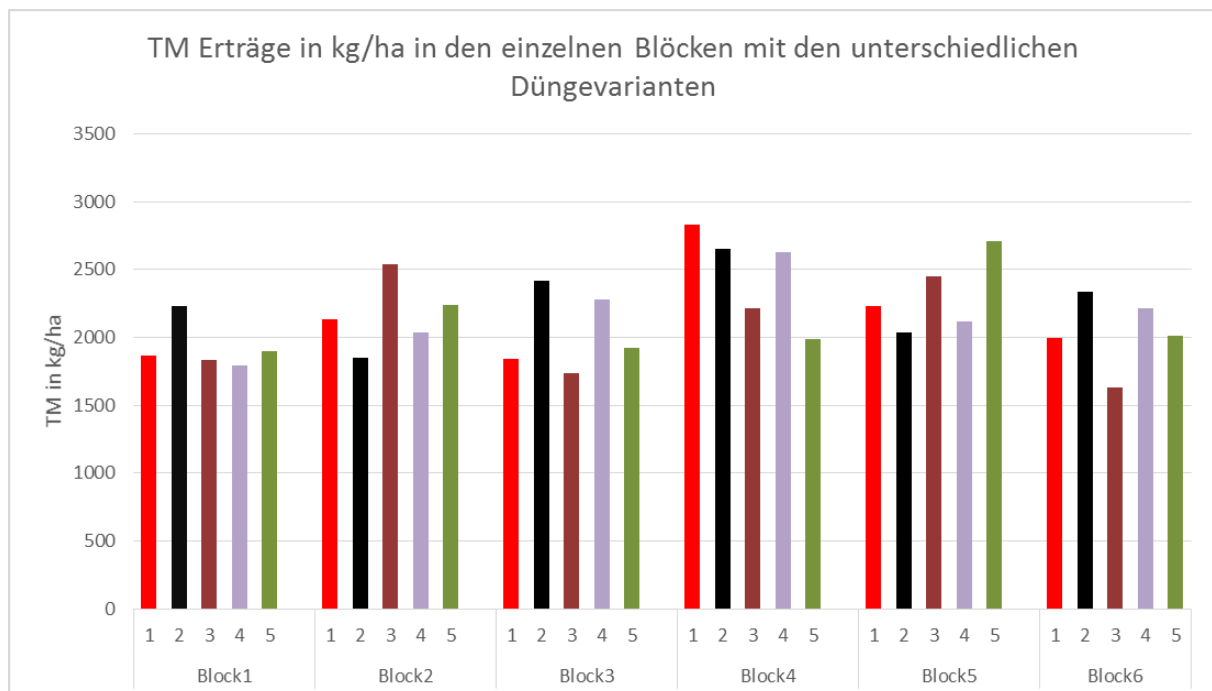


Abb. 35: TM-Erträge in kg/ha beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten als Nachwirkung, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Für den dritten Aufwuchs ergaben sich im Durchschnitt folgende TM-Erträge in den einzelnen Düngevarianten:

- Ungedüngt: 2.149 kg/ha TM ^a
- Bioabfallkompost: 2.256 kg/ha TM ^a
- Stallmistkompost: 2.067 kg/ha TM ^a
- NPK: 2.179 kg/ha TM ^a
- Klärschlammkompost: 2.128 kg/ha TM ^a

Verglichen mit dem zweiten Aufwuchs, zeigt sich beim folgenden dritten Aufwuchs eine Abnahme der TM-Erträge. Jedoch liegen diese dennoch in einen normalen Bereich. Das beste durchschnittliche Ergebnis erzielte die Variante Bioabfallkompost mit 2.256 kg TM/ha. Weiters liegt die Ungedüngte Variante mit 2.149 kg TM/ha ebenso in einem Bereich, der als gut

angesehen werden kann. Dieses Ergebnis zeigt deutlich, dass trotz des langjährigen Ausbleibens der Nährstoffe die Fruchtbarkeit des Bodens durch eine Fruchtfolge erhalten bleibt. Sieht man sich als Vergleich die Erträge auf den Silomaismonokulturversuchsflächen an, ist deutlich zu sehen, dass die TM-Erträge in diesem Nachwirkungsversuch schlechter sind als jene auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches.

3.6.2. Inhaltsstoffe des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs

3.6.2.1. Rohprotein

In der Fraktion **Rohprotein** wurden beim dritten Aufwuchs keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten festgestellt. Der p-Wert des vorliegenden Modells liegt bei 0,361. Für das Rohprotein ergaben sich beim dritten Aufwuchs folgende mittleren Gehalte in den einzelnen Varianten:

- Ungedüngt: 200 g/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 189 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 202 g/kg TM ^a
- NPK: 196 g/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 190 g/kg TM ^a

Wie bereits auch in den vorherigen Aufwüchsen, wird auch der dritte Aufwuchs mit der ÖAG Futterwerttabelle (2017) verglichen. Dabei wird für das Klee grasheu ein Rohproteingehalt von 130 g/kg TM angegeben (Resch et al., 2017). Gegenüber dem ersten und zweiten Aufwuchs zeigt sich ein Anstieg des Rohproteingehaltes. Das beste Ergebnis, mit 202 g/kg TM, wurde in der Stallmistkompostvariante erzielt. Generell kann der hohe Rohproteingehalt der einzelnen Düngevarianten mit dem hohen Kleeanteil von über 94% im Pflanzenbestand begründet werden.

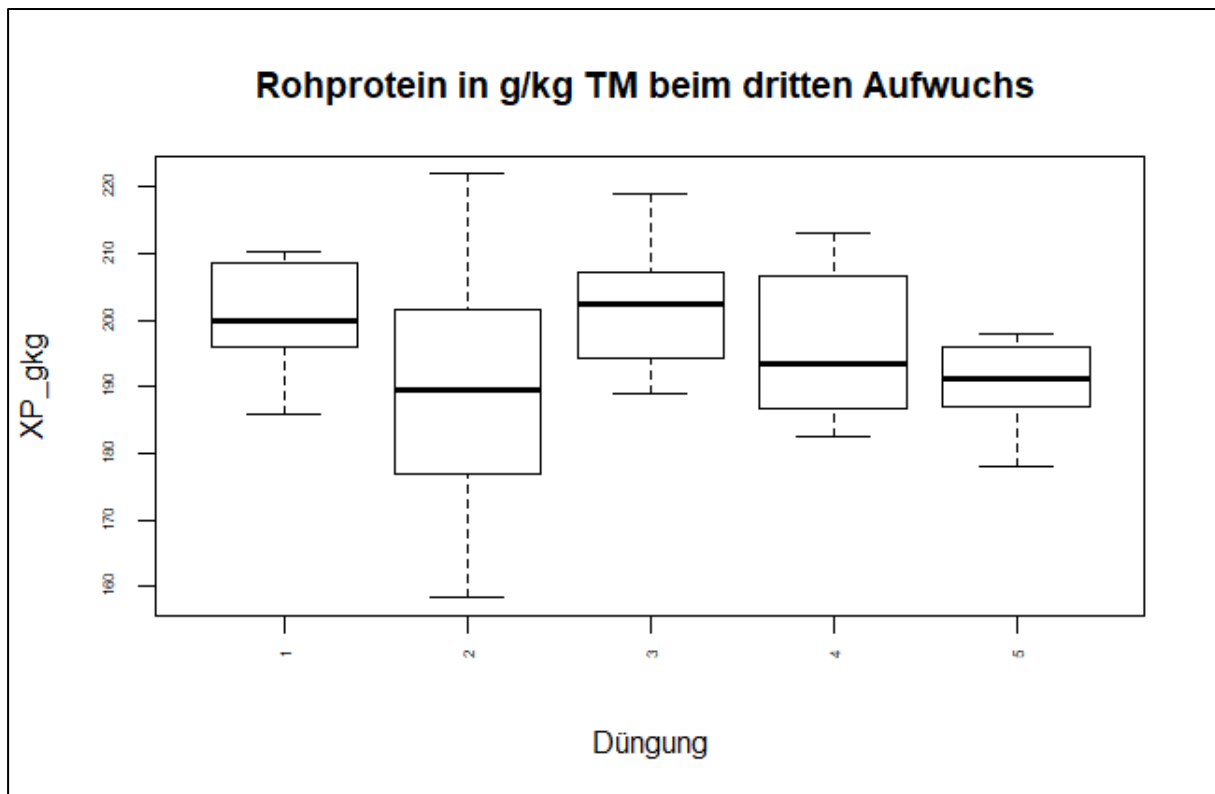


Abb. 36: Rohproteingehalte in g/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

3.6.2.2. Phosphor

Im Bereich des **Phosphors** ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten ($p\text{-Wert}=0,687$). Aufgrund dieses Ergebnisses kann davon ausgegangen werden, dass die Düngung in der Nachwirkung keinen signifikanten Einfluss auf den Phosphorgehalt hat. Die einzelnen Varianten weisen folgende mittlere Gehalte beim dritten Aufwuchs auf:

- Ungedüngt: 4,02 g/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 3,95 g/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 3,90 g/kg TM ^a
- NPK: 3,97 g/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 3,90 g/kg TM ^a

Laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) liegt der Richtwert für Phosphor bei 3,0 g/kg TM (Resch et al., 2017). Die Gehalte beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs liegen etwas darüber. Gegenüber dem ersten Aufwuchs ist eine Abnahme zu verzeichnen, jedoch liegen die Phosphorgehalte dennoch in einem guten Bereich. Beachtenswert ist hierbei vor allem die Ungedüngte Variante mit 4,02 g/kg TM. Trotz

des langjährigen Fehlens der Nährstoffzufuhr, erbrachte diese Variante gute Leistungen, was wiederum zeigt, dass dieser Boden ein hohes Potential an Nachlieferung von Nährstoffen hat.

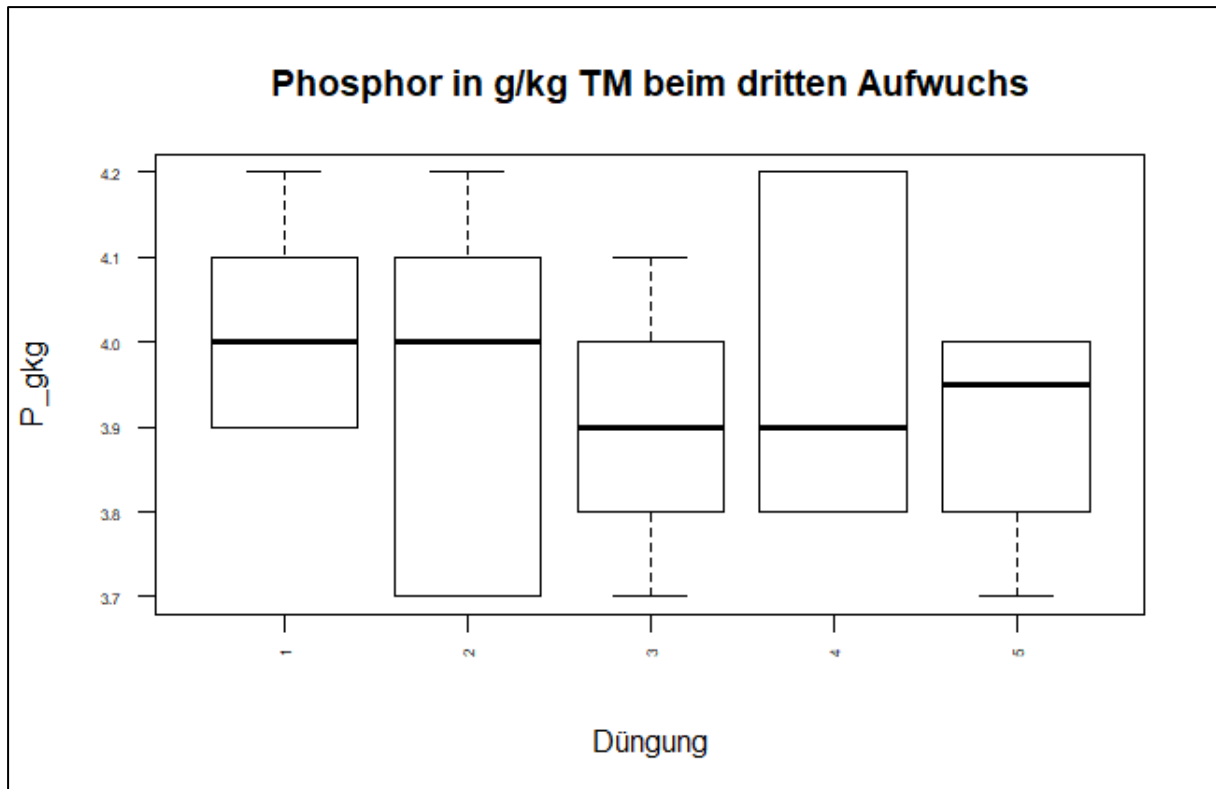


Abb. 37: Phosphorgehalte in g/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

3.6.2.3. Schwermetalle

In der Fraktion Schwermetalle werden beim dritten Aufwuchs die Elemente Chrom, Nickel, Blei und Cadmium näher betrachtet.

Das Element **Chrom** zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Düngevarianten beim dritten Aufwuchs, aufgrund des p-Wertes (0,785), welcher größer ist als unser Alpha von 0,05. Es ergeben sich folgende durchschnittliche Chromgehalte beim dritten Aufwuchs:

- Ungedüngt: 1,27 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,87 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 1,22 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,95 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 1,06 mg/kg TM ^a

Beim dritten Aufwuchs ist ein Anstieg des Chromgehaltes gegenüber den ersten beiden Aufwüchsen zu erkennen. Jedoch ist zu erwähnen, dass diese dennoch unter der kritischen

Konzentration, welche von Mengel und Kirkby (2001) angegeben wurde, liegen. Genauer gesagt, liegt diese kritische Konzentration für Futterrationen zwischen 50 und 3.000 mg/kg TM (Mengel und Kirkby, 2001). Vor allem die Ungedüngte Variante (1,27 mg/kg TM) weist höhere durchschnittliche Chromgehalte auf, als die anderen Varianten. Der Anstieg der Chromgehalte im letzten Aufwuchs könnte zum Beispiel durch das Absinken des pH-Werts im Boden verursacht werden. Die Verfügbarkeit von Schwermetallen steigt bei niedrigen pH-Werten an. Jedoch liegen die maximalen Chromgehalte, wie in der Abbildung 38 ersichtlich, dennoch unter der angegebenen kritischen Konzentration von Mengel und Kirkby (2001).

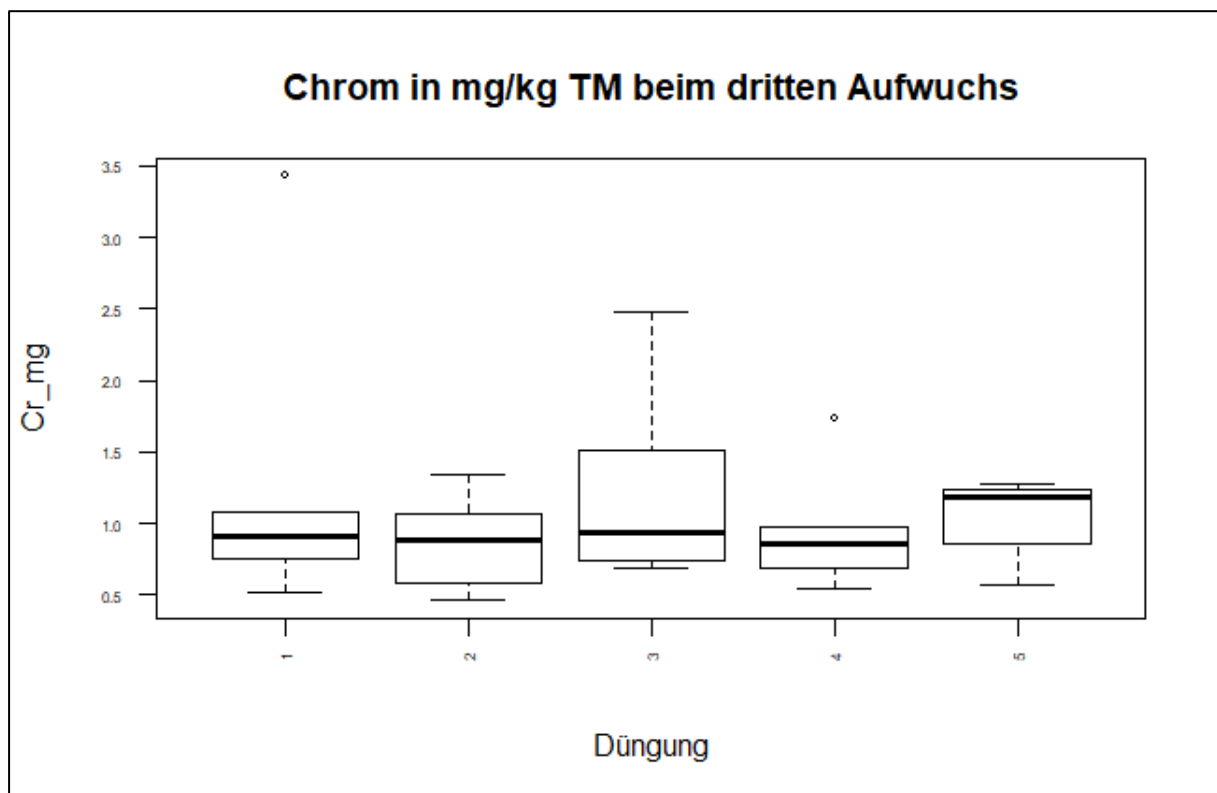


Abb. 38: Chromgehalte in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Ein weiteres Element, welches beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches näher betrachtet wird, ist **Nickel**. Da bei diesem Schwermetall keine Normalverteilung vorliegt, wurde hier der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Dieser Test zeigt mit einem p-Wert von 0,8715, dass für Nickel in der Nachwirkung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngevarianten vorliegen. Es ergeben sich folgende mittlere Nickelgehalte beim dritten Aufwuchs:

- Ungedüngt: 1,67 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 1,36 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 1,79 mg/kg TM ^a

- NPK: 1,57 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 1,52 mg/kg TM ^a

Ebenso wie bei Chrom ergibt sich auch bei Nickel ein leichter Anstieg der Gehalte beim dritten Aufwuchs. Jedoch ist auch hier zu erwähnen, dass die Gehalte weit unter der kritischen Konzentration von 50 bis 60 mg/kg TM, wie sie in Mengel und Kirkby (2001) angegeben sind, liegen. Die kritische Konzentration bezieht sich dabei auf Futterrationen (Mengel und Kirkby, 2001). Der höchste mittlere Gehalt wurde beim dritten Aufwuchs in der Stallmistkompostvariante mit 1,79 mg/kg TM festgestellt. Sieht man sich auch die Maximalwerte in den einzelnen Düngevarianten an, so ist zu erkennen, dass diese sich ebenso deutlich unter dem Grenzwert befinden. Die einzelnen Nickelgehalte in den verschiedenen Düngevarianten sind in der Abbildung 39 zu erkennen.

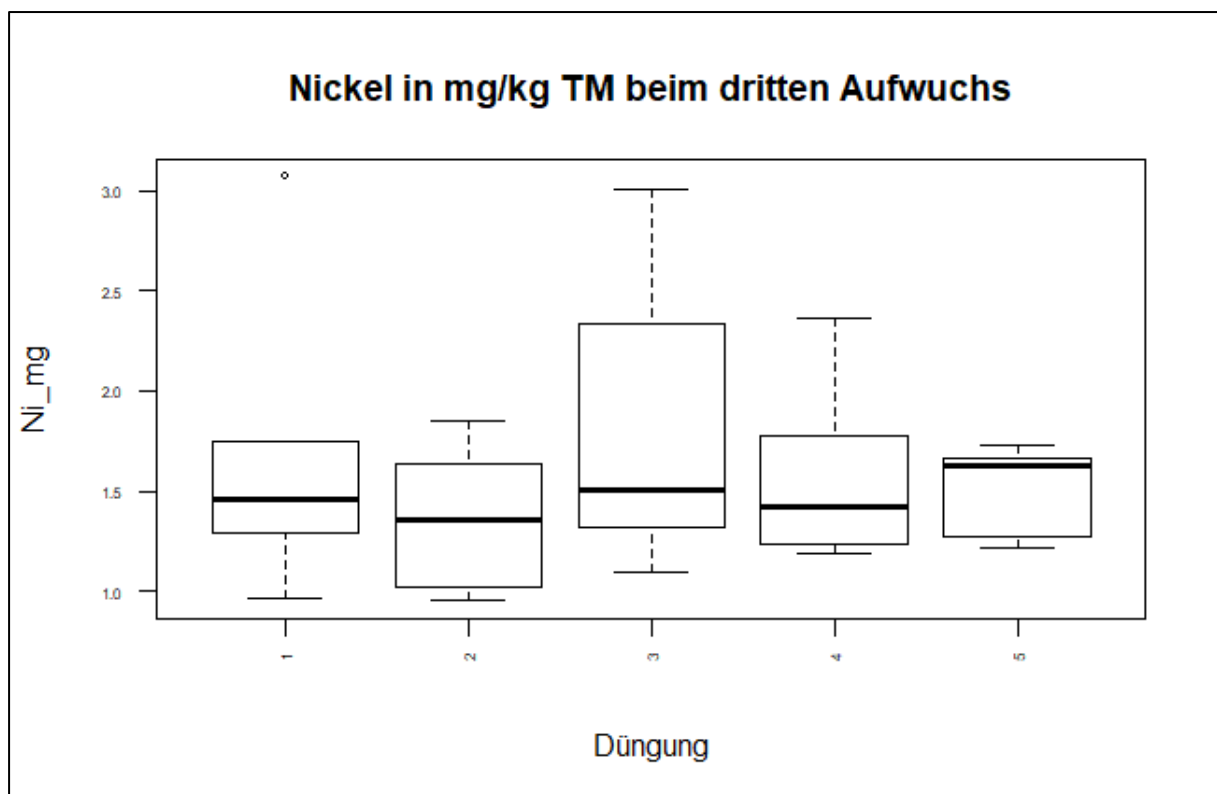


Abb. 39: Nickelgehalt in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Beim Schwermetall **Blei** wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Düngevarianten beim dritten Aufwuchs festgestellt. Der p-Wert mit 0,634 liegt über dem Signifikanzniveau von 0,05. Es ergeben sich für diesen dritten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch folgende durchschnittlichen Gehalte:

- Ungedüngt: 0,765 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,882 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 1,068 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,827 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 1,045 mg/kg TM ^a

Im Vergleich zum zweiten Aufwuchs ergibt sich eine leichte Erhöhung der Bleigehalte im Futter. Vor allem die Stallmistkompost- sowie die Klärschlammkompostvariante zeigen in ihrer Nachwirkung höhere Gehalte auf gegenüber den anderen Düngevarianten. Wie bereits auch bei Chrom und Nickel, liegen auch bei diesem Schwermetall die erzielten Maximalgehalte unter den Grenzwerten. Auf EU-Ebene gilt für Alleinfuttermittel eine Höchstgrenze von 5 mg/kg TM. Für Grünfutter liegt diese bei 40 mg/kg TM (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Eine weitere Quelle gibt für Futterrationen eine kritische Konzentration von 10 bis 30 mg/kg TM an (Mengel und Kirkby, 2001). In der folgenden Abbildung 40 ist die Spannweite der Bleigehalte in den einzelnen Düngevarianten noch einmal genau aufgelistet.

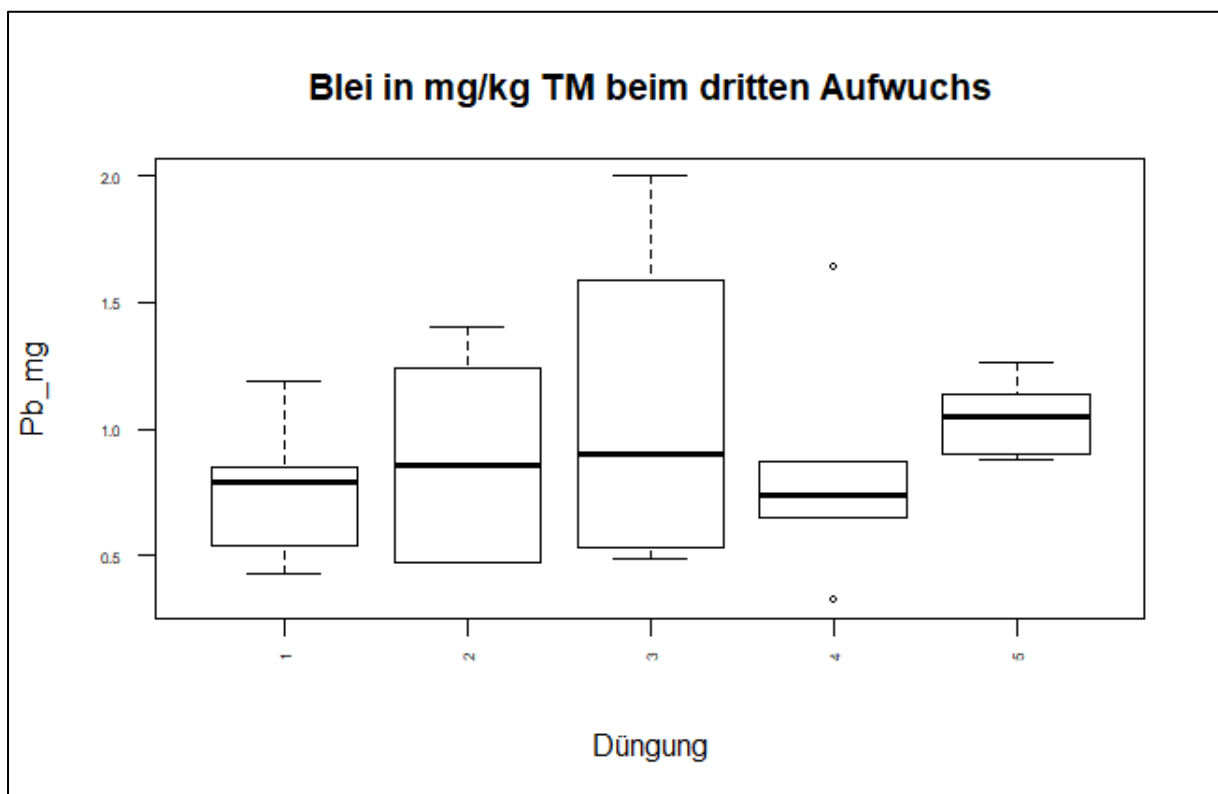


Abb. 40: Bleigehalte in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Das letzte Schwermetall, welches in diesem Kapitel bearbeitet wird, ist **Cadmium**. Bei diesem Element wurde aufgrund des p-Wertes von 0,628 ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Düngevarianten festgestellt. Für Cadmium wurden beim dritten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch folgende mittleren Gehalte festgestellt:

- Ungedüngt: 0,040 mg/kg TM ^a
- Bioabfallkompost: 0,045 mg/kg TM ^a
- Stallmistkompost: 0,052 mg/kg TM ^a
- NPK: 0,053 mg/kg TM ^a
- Klärschlammkompost: 0,043 mg/kg TM ^a

Gegenüber dem zweiten Aufwuchs ist nur ein sehr leichter Anstieg zu verzeichnen. Beispielsweise ist in der Bioabfallkompostvariante der Bleigehalt des Kleegrases beim dritten Aufwuchs um 0,007 mg/kg TM höher als beim zweiten Aufwuchs. Für Cadmium liegt auf EU-Ebene ein Grenzwert vor. Im Bereich von Alleinfuttermittel dürfen die Gehalte nicht höher als 1 mg/kg TM sein (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Verglichen mit den erzielten Gehalten in diesem Versuch, ist zu erkennen, dass die Bleigehalte weit unter dem Grenzwert von 1 mg/kg TM liegen.

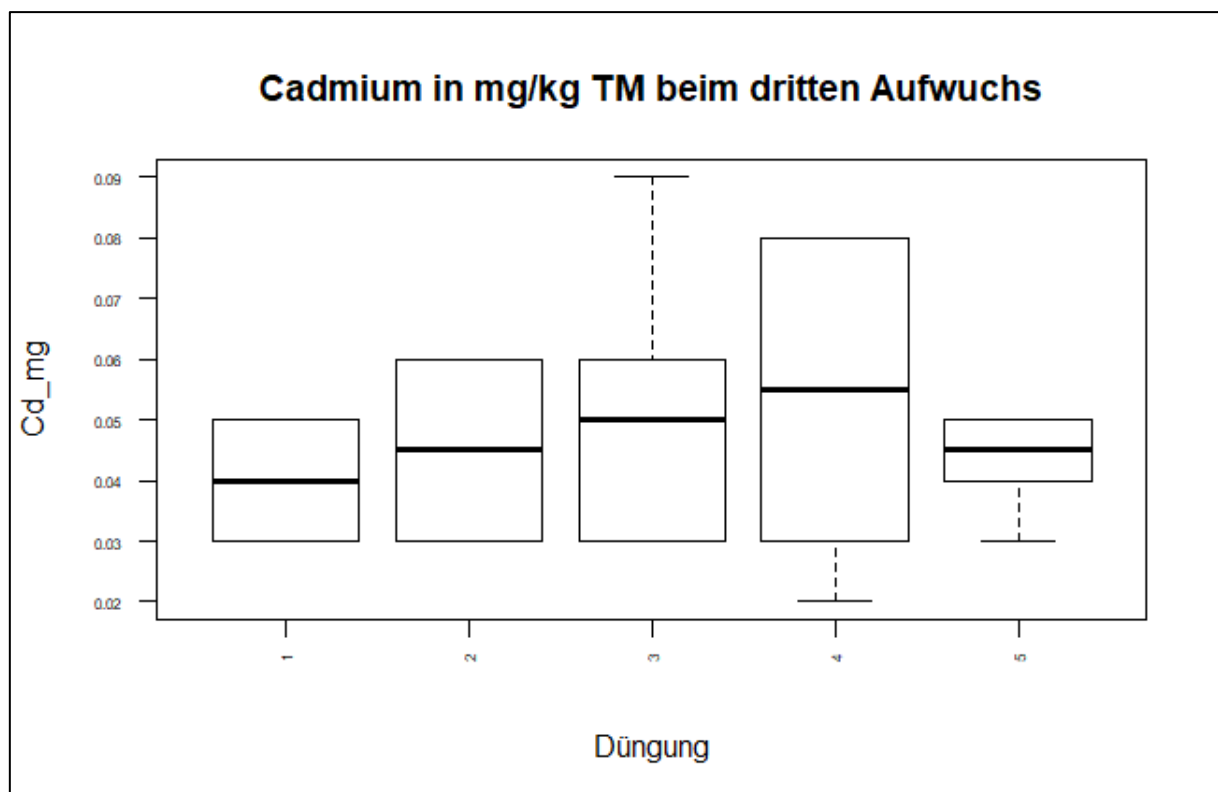


Abb. 41: Cadmiumgehalte in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

In der folgenden Tabelle 17 werden die durchschnittlichen Schwermetallgehalte der einzelnen Düngevarianten im Nachwirkungsversuch noch einmal zusammengefasst und den Grenzwerten aus der Literatur gegenübergestellt.

	Cr (mg/kg TM)	Ni (mg/kg TM)	Cd (mg/kg TM)	Pb (mg/kg TM)
EU-Richtlinie: Alleinfuttermittel Grünfütter	- -	- -	1,0 -	5 40
Mengel und Kirkby (2001)	50 – 3.000	50-60	0,5-1,0	10-30
Ungedüngt	1,265	1,665	0,040	0,765
Bioabfallkompost	0,872	1,362	0,045	0,882
Stallmistkompost	1,215	1,795	0,052	1,068
NPK	0,945	1,568	0,053	0,827
Klärschlammkompost	1,055	1,522	0,043	1,045

Tab. 17: Mittlere Schwermetallgehalte des dritten Aufwuchses, auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs als Nachwirkung der Düngevarianten.

Für den im Nachwirkungsversuch dritten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches ist bei den Schwermetallen Chrom, Nickel und Blei ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Im Bereich von Cadmium ist nur eine sehr geringe Erhöhung festzustellen. Dennoch ist zu erwähnen, dass auch die Maximalgehalte in keinem der Düngevarianten den jeweiligen Grenzwert annähernd erreicht haben. Was wiederum bedeutet, dass auch beim letzten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches kein Problem mit kritischen Schwermetallgehalten besteht. Als Schlussfolgerung kann gesagt werden, dass in der Nachwirkung Klärschlamm- oder Bioabfallkompost keine signifikant höheren Gehalte an Schwermetallen zeigen als in den Vergleichsvarianten.

3.6.3. Nährstoffentzug über das Erntegut

Ebenso wie bei den ersten beiden Aufwüchsen wurde auch beim dritten Aufwuchs der Rohproteintrag in kg/ha ermittelt. Beim dritten Aufwuchs wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Düngevarianten, bezogen auf den Rohproteintrag, festgestellt. Der p-Wert für dieses Modell liegt bei 0,973. Folgende durchschnittliche Rohproteinträge wurden beim dritten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch ermittelt.

- Ungedüngt: 429 kg RP/ha ^a
- Bioabfallkompost: 432 kg RP/ha ^a
- Stallmistkompost: 419 kg RP/ha ^a
- NPK: 427 kg RP/ha ^a
- Klärschlammkompost: 405 kg RP/ha ^a

Gegenüber dem zweiten Aufwuchs ist ein leichter Rückgang des Rohproteinertrages zu verzeichnen. Dies ist wiederum die Folge der leicht sinkenden TM-Erträge im dritten Aufwuchs. Bezogen auf den Rohproteinertrag lieferte die Bioabfallkompostvariante mit 432 kg RP/ha das beste durchschnittliche Ergebnis. Die Ungedüngte Variante zeigte ebenso mit 429 kg /ha gute Rohproteinerträge.

Um wiederum auf den *Stickstoffentzug* in kg/ha zu kommen, wird der Rohproteinertrag in kg/ha durch 6,25 dividiert. Dabei ergeben sich folgende mittleren Stickstoffgehalte:

- Ungedüngt: 68,6 kg N/ha
- Bioabfallkompost: 69,2 kg N/ha
- Stallmistkompost: 67,0 kg N/ha
- NPK: 68,3 kg N/ha
- Klärschlammkompost: 64,8 kg N/ha

Beim dritten Aufwuchs weist die Bioabfallkompostvariante mit 69,2 kg N/ha den höchsten mittleren N-Entzug auf. Jedoch werden auch in der Ungedüngten Variante mit 68,6 kg N/ha sehr gute Entzüge ermittelt. Da der Rohproteinertrag gegenüber dem zweiten Aufwuchs gesunken ist, ist als Schlussfolgerung auch der N-Entzug bei allen Varianten gegenüber dem vorherigen Aufwuchs niedriger. Begründet kann dies damit werden, dass der TM-Ertrag ebenso gesunken ist und dadurch weniger Biomasse produziert wurde, wodurch auch weniger Nährstoffe über das Erntegut abtransportiert wurden.

3.7. Ergebnisse des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs

3.7.1. TM-Erträge beim dritten Aufwuchs

Beim letzten Aufwuchs auf dieser Fläche, werden die TM-Erträge, Rohproteingehalt, Phosphor, die Schwermetalle Chrom, Nickel, Blei und Cadmium sowie der Rohproteinentzug näher betrachtet.

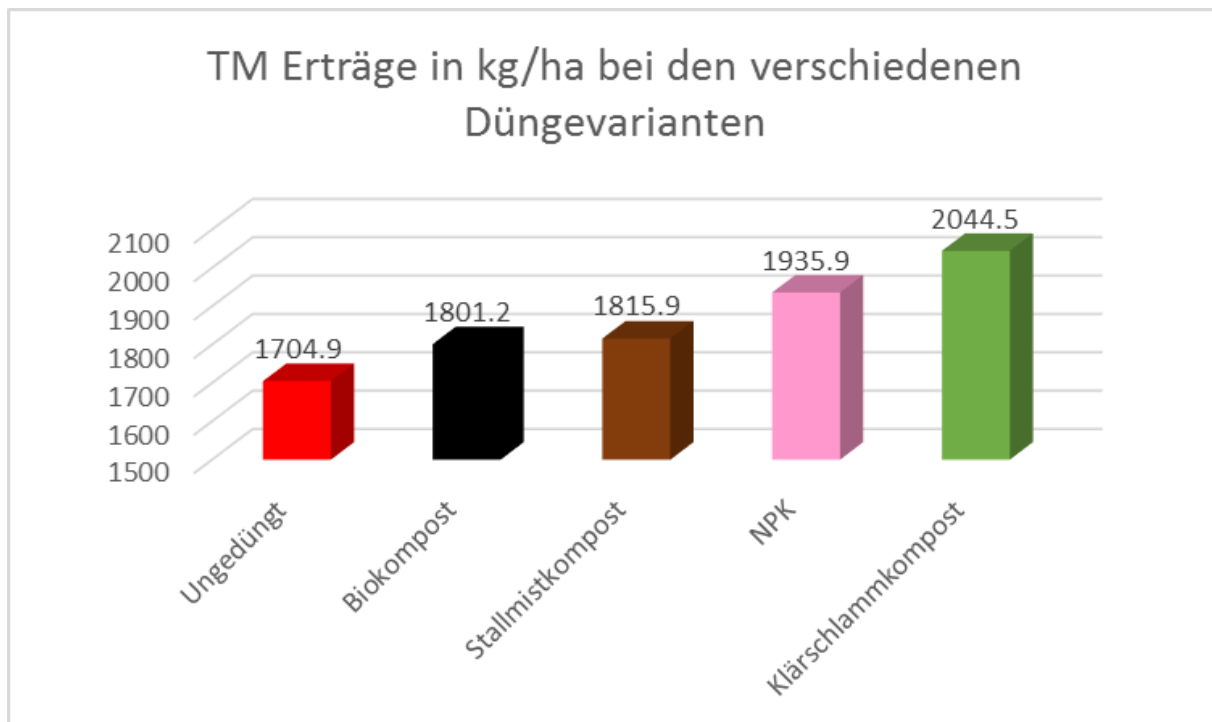


Abb. 42: TM-Erträge des dritten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs als Nachwirkung der Düngevarianten, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs wurden beim dritten Aufwuchs folgende TM-Erträge festgestellt.

- Ungedüngt: 1.705 kg/ha
- Bioabfallkompost: 1.801 kg/ha
- Stallmistkompost: 1.816 kg/ha
- NPK: 1.936 kg/ha
- Klärschlammkompost: 2.044 kg/ha

Die TM-Erträge auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches nahmen im Laufe der drei Aufwüchse bei allen Varianten zu. Begründet werden kann dies damit, dass die biologische N-Fixierung über das Jahr hinweg stark angestiegen ist und dadurch die Pflanzen im Bestand ausreichend mit Stickstoff versorgt wurden, was sich wiederum auch auf den TM-Ertrag auswirkte. Vor allem die Klärschlammkompostvariante mit 2.044 kg TM/ha zeigt sehr gute Erträge auf. Den geringsten TM-Ertrag erzielt wiederum die Ungedüngte Variante mit 1.704 kg

TM/ha, jedoch ist gegenüber dem ersten Aufwuchs, bei dem lediglich 956,85 kg TM/ha ermittelt wurden, ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen.

3.7.2. Inhaltsstoffe des dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaisversuchs

3.7.2.1. Rohprotein

Die **Rohproteingehalte** im Nachwirkungsversuch liegen beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches in den einzelnen Düngevarianten bei:

- Ungedüngt: 204,2 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 210,2 g/kg TM
- Stallmistkompost: 205,8 g/kg TM
- NPK: 189,9 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 203,8 g/kg TM

Laut der ÖAG Futterwerttabelle (2017) sollte der Rohproteingehalt von Klee grasheu bei 130 g/kg TM liegen (Resch et al., 2017). Vergleicht man die Gehalte des dritten Aufwuchses mit jenen der Futterwerttabelle, so zeigt sich, dass die Rohproteingehalte in einem sehr guten Bereich angesiedelt sind. Diese guten Rohproteingehalte von 190 bis 210 g/kg TM können durch den hohen Kleeanteil im Bestand begründet werden. Weiters ist zu erwähnen, dass gegenüber dem zweiten Aufwuchs ein leichter Anstieg des Rohproteingehaltes zu verzeichnen ist.

3.7.2.2. Phosphor

Für **Phosphor** werden beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte festgestellt:

- Ungedüngt: 4,3 g/kg TM
- Bioabfallkompost: 4,1 g/kg TM
- Stallmistkompost: 4,2 g/kg TM
- NPK: 4,3 g/kg TM
- Klärschlammkompost: 4,0 g/kg TM

Im Bereich von Phosphor wird in der ÖAG Futterwerttabelle (2017) ein Richtwert von 3,0 g/kg TM angegeben (Resch et al., 2017). Die Gehalte beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches liegen deutlich darüber. Vor allem die Ungedüngte sowie die

NPK Variante weisen mit 4,3 g/kg TM die besten Gehalte in diesem Aufwuchs auf. Gegenüber dem zweiten Aufwuchs ist bei allen Varianten ein leichter Anstieg zu erkennen.

3.7.2.3. Schwermetalle

Das erste Schwermetall, welches beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches näher betrachtet wird, ist **Chrom**. Dieses Element erzielt folgende Gehalte in den einzelnen Düngevarianten:

- Ungedüngt: 0,67 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,80 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,72 mg/kg TM
- NPK: 1,07 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 2,40 mg/kg TM

In der Literatur werden für Futterrationen bezogen auf die Chromgehalte kritische Konzentrationen von 50 bis 3.000 mg/kg TM angegeben (Mengel und Kirkby, 2001). Auf EU-Ebene gibt es keine Höchstgrenze für Chrom (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). In diesem Versuch liegen die Chromgehalte deutlich unter der kritischen Konzentration, die von Mengel und Kirkby (2001) angegeben wurde. Jedoch ist zu erwähnen, dass sich gegenüber dem zweiten Aufwuchs eine Erhöhung der Chromgehalte im Kleeergrasfutter zeigt. Vor allem die Klärschlammkompost Variante zeigt mit 2,40 mg/kg TM höhere Gehalte auf als die anderen Varianten. In Prozent ausgedrückt liegt die Klärschlammkompostvariante rund 95% unter der kritischen Konzentration von 50 mg/kg TM.

Nickel, ein weiteres Schwermetall, welches in dieser Arbeit betrachtet wird. Beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs wurden folgende Nickelgehalte ermittelt:

- Ungedüngt: 1,30 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 1,37 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 1,25 mg/kg TM
- NPK: 2,68 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 3,26 mg/kg TM

Ebenso wie für Chrom gibt es auch bei Nickel keine Regelung für Höchstgehalte in Futtermittel auf EU-Ebene (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Mengel und Kirkby (2001) geben eine kritische Konzentration von 50 bis 60 mg/kg TM an. Verglichen mit den Gehalten in diesem Versuch, liegen die Nickelgehalte wiederum erheblich darunter. Jedoch ist

gegenüber dem zweiten Aufwuchs ein Anstieg zu sehen. Hierbei stechen vor allem die Variante Klärschlammkompost mit 3,26 mg/kg TM und NPK mit 2,68 mg/kg TM im Nachwirkungsversuch hervor. Dennoch liegt die Klärschlammkompostvariante rund 93% und die NPK Variante 94% unter dem Grenzwert von 50 mg/kg TM.

Das Element **Blei** erzielte beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 0,63 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,59 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,48 mg/kg TM
- NPK: 0,89 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 1,81 mg/kg TM

Für Grünfuttermittel liegt die Bleihöchstgrenze bei 40 mg/kg TM und bei Alleinfuttermittel bei lediglich 5 mg/kg TM (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Laut Mengel und Kirkby (2001) liegt die kritische Konzentration von Blei in Futterrationen zwischen 10 und 30 mg/kg TM. Auch beim letzten Aufwuchs erreicht keine der fünf Düngevarianten die Höchstgrenze. Jedoch ist, wie bereits bei den vorherigen Schwermetallen, auch hier gegenüber dem zweiten Aufwuchs ein Anstieg zu verzeichnen. Wiederum die Klärschlammkompostvariante weist den höchsten Gehalt mit 1,81 mg/kg TM auf. Dieser Gehalt der Düngevariante 5 befindet sich rund 63% unter der Höchstgrenze von 5 mg/kg TM.

Das letzte Schwermetall, welches beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches näher betrachtet wird, ist **Cadmium**. Dieses Element erzielt beim dritten Aufwuchs folgende Gehalte:

- Ungedüngt: 0,03 mg/kg TM
- Bioabfallkompost: 0,03 mg/kg TM
- Stallmistkompost: 0,02 mg/kg TM
- NPK: 0,05 mg/kg TM
- Klärschlammkompost: 0,08 mg/kg TM

Die beiden Quellen, welche zum Vergleich für diesen Versuch herangezogen wurden, weisen ähnlich hohe Grenzwerte auf. Auf EU-Ebene gilt für Alleinfuttermittel ein Höchstgehalt von 1,0 mg/kg TM (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2002). Mengel und Kirkby (2001) geben eine kritische Konzentration für Futterrationen von 0,5 bis 1,0 mg/kg TM an. Die Cadmiumgehalte des dritten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches liegen bei weitem unter den Grenzwerten der Literatur. Der höchste durchschnittliche Gehalt beim dritten Aufwuchs wurde in der Klärschlammkompostvariante mit 0,08 mg/kg TM

festgestellt, jedoch liegt dieser dennoch rund 92% unter dem Grenzwert von 1,0 mg/kg TM. Gegenüber dem zweiten Aufwuchs ergibt sich bei diesem Schwermetall kein Anstieg der Gehalte.

In der folgenden Tabelle 18 sind die Schwermetallgehalte der verschiedenen Düngevarianten als Nachwirkung zusammengefasst und mit den Höchstgrenzen aus der Literatur gegenübergestellt.

	Cr (mg/kg TM)	Ni (mg/kg TM)	Cd (mg/kg TM)	Pb (mg/kg TM)
EU-Richtlinie: Alleinfuttermittel Grünfutter	- -	- -	1,0 -	5 40
Mengel und Kirkby (2001)	50 – 3.000	50 - 60	0,5 - 1,0	10 - 30
Ungedüngt	0,67	1,30	0,03	0,63
Bioabfallkompost	0,80	1,37	0,03	0,59
Stallmistkompost	0,72	1,25	0,02	0,48
NPK	1,07	2,68	0,05	0,89
Klärschlammkompost	2,40	3,26	0,08	1,81

Tab. 18: Schwermetallgehalt des dritten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Zusammengefasst ist zu sagen, dass alle Schwermetallgehalte unter den Grenzwerten der Vergleichsliteratur liegen. Jedoch ist bei Chrom, Nickel und Blei ein Anstieg in den Düngevarianten des Nachwirkungsversuches gegenüber dem zweiten Aufwuchs zu verzeichnen. Hierbei zeigt sich vor allem in der Klärschlammvariante der höchste Anstieg. Jedoch liegen die Gehalte im Nachwirkungsversuch dennoch bei allen Varianten weit unter den Grenzwerten.

3.7.3. Nährstoffentzug über das Erntegut

Im Bereich des **Rohproteinetrags** ergaben sich beim dritten Aufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches folgende Mengen in den einzelnen Düngevarianten:

- Ungedüngt: 348,1 kg RP/ha
- Bioabfallkompost: 378,6 kg RP/ha
- Stallmistkompost: 373,7 kg RP/ha
- NPK: 367,7 kg RP/ha
- Klärschlammkompost: 416,6 kg RP/ha

Verglichen mit dem zweiten Aufwuchs auf dieser Fläche, ist der Rohproteinерtrag deutlich gestiegen. Eine Begründung dafür ist, dass der TM-Ertrag beim dritten Aufwuchs ebenso angestiegen ist und dadurch wiederum auch der Rohproteinерtrag auf dieser Fläche. Vor allem die Klärschlammvariante mit 416,6 kg RP/ha liefert einen sehr guten Ertrag.

Um auf den *N-Entzug* in kg/ha zu kommen, wird der Rohproteinерtrag durch 6,25 dividiert. Dabei werden folgende Entzüge festgestellt:

- Ungedüngt: 55,7 kg N/ha
- Bioabfallkompost: 60,6 kg N/ha
- Stallmistkompost: 59,8 kg N/ha
- NPK: 58,8 kg N/ha
- Klärschlammkompost: 66,6 kg N/ha

Ebenso wie der Rohproteinерtrag steigt auch der N-Entzug beim dritten Aufwuchs an. Vor allem in der Klärschlammkompostvariante (66,6 kg N/ha) kommt es zu einem erheblichen Anstieg gegenüber dem zweiten Aufwuchs. Hierbei wurde beim dritten Aufwuchs um 37,5 kg/ha mehr Stickstoff über das Erntegut entzogen als beim zweiten Aufwuchs. Aber auch in den anderen Varianten liegen die N-Entzüge in einem guten Bereich.

3.8. Jahresverläufe der TM-Erträge im Nachwirkungsversuch

In diesem Kapitel werden die TM-Erträge der drei Aufwüchse vom Nachwirkungsversuch in beiden Flächen (Fruchtfolge- und Silomaismonokulturversuch) zusammengefasst.

Abbildung 43 zeigt im Mittel die TM-Erträge der drei Aufwüchse auf den Fruchtfolgeversuchsflächen. Hierbei zeigt sich über alle Düngevarianten hinweg der gleiche Verlauf. Sieht man sich die blaue Kurve in der Abbildung 43 an, so liegen die Klee gras-TM-Erträge im ersten Aufwuchs zwischen 1.630 und 1.833 kg/ha. Beim zweiten Aufwuchs, welcher im Vegetationsverlauf etwas später gemäht wurde, ist ein Anstieg zu verzeichnen, da die Erträge über 2.500 kg TM/ha hinausgehen. Im letzten, dritten Aufwuchs gehen die Erträge wieder etwas zurück und pendeln sich zwischen dem ersten und zweiten Aufwuchs ein. Bezogen auf den Gesamtjahresertrag, liegt die Düngevariante NPK mit 7.020 kg TM/ha an erster Stelle. Etwas darunter befindet sich die Bioabfallkompostvariante mit 6.987 kg TM/ha. Die Varianten Stallmist- und Klärschlammkompost liegen in einem sehr ähnlichen Bereich beim Gesamtertrag. Die Stallmistkompostvariante erzielte 6.418 kg TM/ha und die Variante Klärschlammkompost liegt etwas darüber mit 6.513 kg TM/ha. Das niedrigste Ergebnis wurde in der Variante Ungedüngt, welche 6.115 kg TM/ha aufweist, ermittelt. Alle jene Erträge, die über 6.115 kg TM/ha liegen, können der Nachwirkung zugeschrieben werden. **So wirkt die**

NPK- Düngung auf das Folgejahr inklusive der Stickstoff-Verfügbarkeit des Kleegrases mit 14,8%, der Bioabfallkompostdünger mit 14,3%, die Klärschlammkompostvariante mit 6,5% und die Stallmistkompostvariante mit 5,0%, ertraglich nach.

Laut der Richtlinie für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland (2017) sollten die Erträge für ein kleebetontes Feldfutter zwischen 7.000 und 10.000 kg/ha liegen. Starz et.al. (2015) erzielten in ihrem Versuch im Bereich des Rot- und Weißkleees TM-Erträge die zwischen 7.000 und 8.000 kg/ha lagen. Laut Buchgraber (2018) sind hohe Erträge beim Klee grasfütter durch eine ausreichende Versorgung mit P und K zu erzielen. Eine Stickstoffgabe ist nicht notwendig, da sich der Bestand durch die Knöllchenbakterien selbst versorgt (Buchgraber, 2018). Wie bereits erwähnt, wurde in diesem Versuch keine Düngung durchgeführt. Dennoch liegen die Erträge auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in einem Bereich, der als normal angesehen werden kann. Erstaunenswert ist hierbei die Ungedüngte Variante, die trotz des Ausbleibens der Nährstoffe über 17 Jahre hinweg passable Erträge liefert. Hierbei zeigt sich aber auch der Vorteil des Klee grases. Welches durch sein feines Wurzelwerk den gesamten Boden bis in die Tiefe durchwurzelt und dadurch die Nährstoffe, welche im Boden noch enthalten sind, gut aufnimmt. Weiters ist noch zu erwähnen, dass im Fruchtfolgeversuch kein Klee angebaut wurde. Was wiederum bedeutet, dass eine lange Ruhephase zu verzeichnen war und der Klee sich auf den Flächen in diesem Nachwirkungsversuch daher sehr gut etablieren konnte.

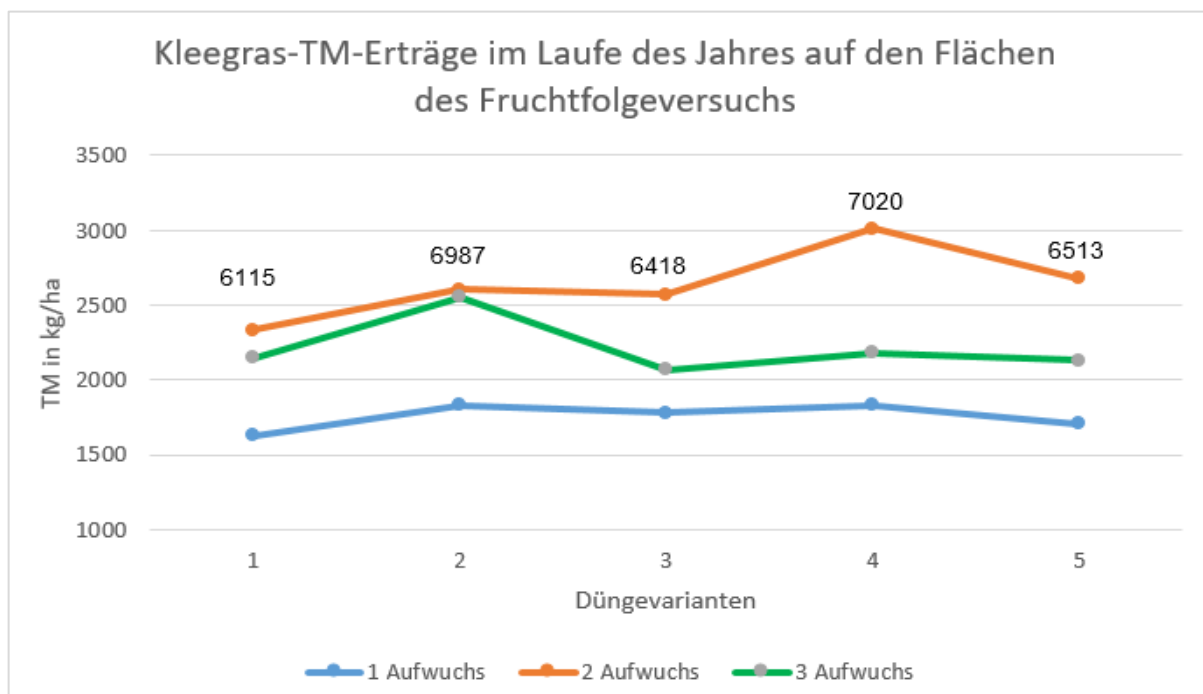


Abb. 43: Jahresverlauf und Gesamtertrag der einzelnen Düngevarianten auf den Klee grasflächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Als Vergleich wird in der Abbildung 44 der Verlauf der drei Klee-grasaufwüchse auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches aufgezeigt. Die Erträge sind gegenüber dem Gesamtertrag auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches niedriger. Ebenso ergibt sich auch hier der höchste Gesamtjahresertrag in der Düngevariante NPK, dieser liegt bei 4.885 kg TM/ha. Die Variante Klärschlammkompost mit 4.448 kg TM/ha, die Stallmistkompostvariante mit 4.519 kg TM/ha und die Bioabfallkompostvariante, welche einen Gesamtertrag von 4.482 kg TM/ha aufweisen, liegen alle in einem ähnlichen Bereich. Es ergibt sich auch bei diesem Nachwirkungsversuch in der Ungedüngten Variante der niedrigste Ertrag mit 3.670 kg TM/ha. Die niedrigeren Erträge auf diesen Flächen sind die Folge des langjährigen Silomaisanbaus. Die fortlaufende Kultivierung von Mais hat den Boden über die Jahre hinweg ausgelaugt und dieser Effekt ist vor allem in der Ungedüngten Variante deutlich erkennbar. Erstaunlich in diesem Versuch ist jedoch, dass die Erträge über die Vegetationsperiode hinweg gestiegen sind. Was wiederum das Potenzial der Bodenmineralisierung sowie der Stickstofffixierung der Leguminosen aufzeigt. Beim dritten Aufwuchs sticht besonders die Klärschlammkompostvariante hervor. In dieser Variante wurden beim letzten Aufwuchs 2.044 kg TM/ha produziert. Die Fruchtfolgeversuchsfläche brachte in der Ungedüngten Variante im Nachwirkungsversuch einen Jahresertrag beim Klee-gras von 6.115 kg TM/ha, was wiederum 66,6% mehr als auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches ist. Diese Zahl zeigt deutlich, wie der Boden durch eine abwechslungsreiche Fruchtfolge fruchtbar bleibt. Die Frage, inwieweit Komposte einen einseitig bewirtschafteten Boden im Ertrag halten können, zeigt der Mehrertrag der Kompostdüngervarianten.

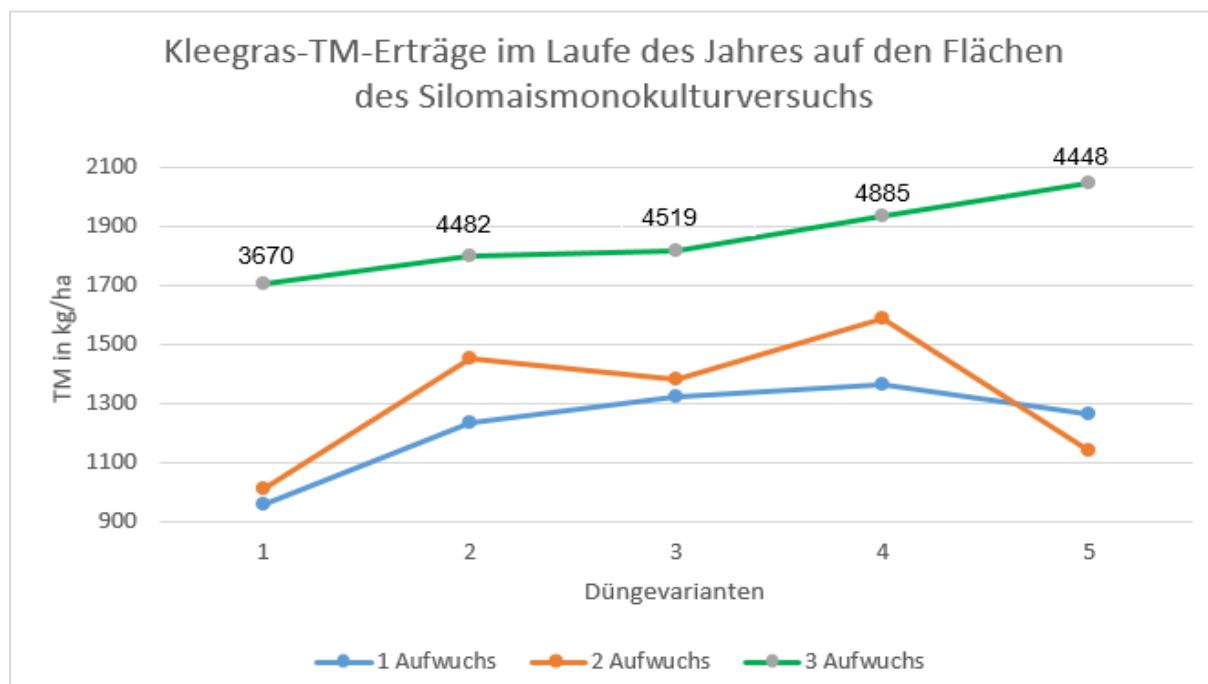


Abb. 44: Gesamterträge der TM in kg/ha auf den Klee-grasflächen des Silomaismonokulturversuches, im Jahr 2019 in Bärnbach.

3.9. Jahresverlauf der Rohproteinерträge und N-Entzüge

Rohprotein ist ein wesentlicher Futterinhaltsstoff für die heimische Landwirtschaft, daher ist es umso wichtiger, dass dieser in ausreichender Menge durch das Grundfutter zur Verfügung steht. Um den Bedarf des Tieres bestmöglich zu decken, sollte daher der Rohproteinерtrag sowie die Proteinqualität gesteigert werden. Mögliche Einflussfaktoren sind hierbei der Nutzungszeitpunkt, der Leguminosenanteil im Bestand sowie die Bereitstellung von Nährstoffen (LAZBW, 2016). Der Rohproteinерtrag wird ebenso vom TM-Ertrag der Fläche beeinflusst, da der Rohproteinерtrag die Verknüpfung zwischen TM-Ertrag und Rohproteinеgehalt darstellt (Pötsch und Resch, 2020).

Jene Rohproteinерträge, die im Jahr 2019 im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs erfasst wurden, sind in der Abbildung 45 ersichtlich. Der höchste XP-Ertrag mit 1.278 kg RP/ha wurde in der NPK-Variante festgestellt. Die Variante Stallmistkompost mit 1.179 kg RP/ha sowie die Variante Klärschlammkompost mit 1.183 kg RP/ha liegen in etwa gleich auf. Die Bioabfallkompost Variante erzielte im Nachwirkungsversuch 1.098 kg RP/ha. Etwas darunter befindet sich die Ungedüngte Variante mit 1.057 kg RP/ha. Pötsch und Resch (2020) geben an, dass Klee- sowie Klee grasbestände unter optimalen Bedingungen ein N-Bindungsvermögen von bis zu 3.000 kg RP/ha und Jahr aufweisen können. Um solch ein Leistungspotenzial zu erreichen, benötigt es eine ausreichende Versorgung mit Kalium und Phosphor (Pötsch und Resch, 2020). Klopф (2012) untersuchte in ihrer Arbeit die Nährstoffauswaschungen im Feldfutterbau bei unterschiedlichen Düngeintensitäten. Dabei wurde auch der Rohproteinерtrag ermittelt. Die Feldfuttermischung IR, welche in diesem Versuch angewendet wurde, erreichte im ersten Nutzungsjahr bei einem niedrigen Düngeniveau einen XP-Ertrag von 1.313 kg RP/ha (Klopф, 2012). Laut dem Grünen Bericht (2020) liegen die XP-Erträge für Klee gras im Jahr 2019 bei durchschnittlich 1.148 kg RP/ha. Die XP-Erträge am Versuchsstandort liegen in einem ähnlichen Bereich wie der österreichische Durchschnitt. Jedoch ist zu sagen, dass es in Österreich im Jahr 2019 zu fehlenden Niederschlägen sowie hohen Temperaturen in den Sommermonaten kam, welche zu Ertragseinbußen führten (BMLRT, 2020). Wie bereits erwähnt, erfolgte im Nachwirkungsversuch keine Düngung. Klee- sowie Klee grasbestände benötigen eine ausreichende Versorgung mit Phosphor und Kalium, diese war bei allen Düngevarianten außer der Variante Ungedüngt gegeben.

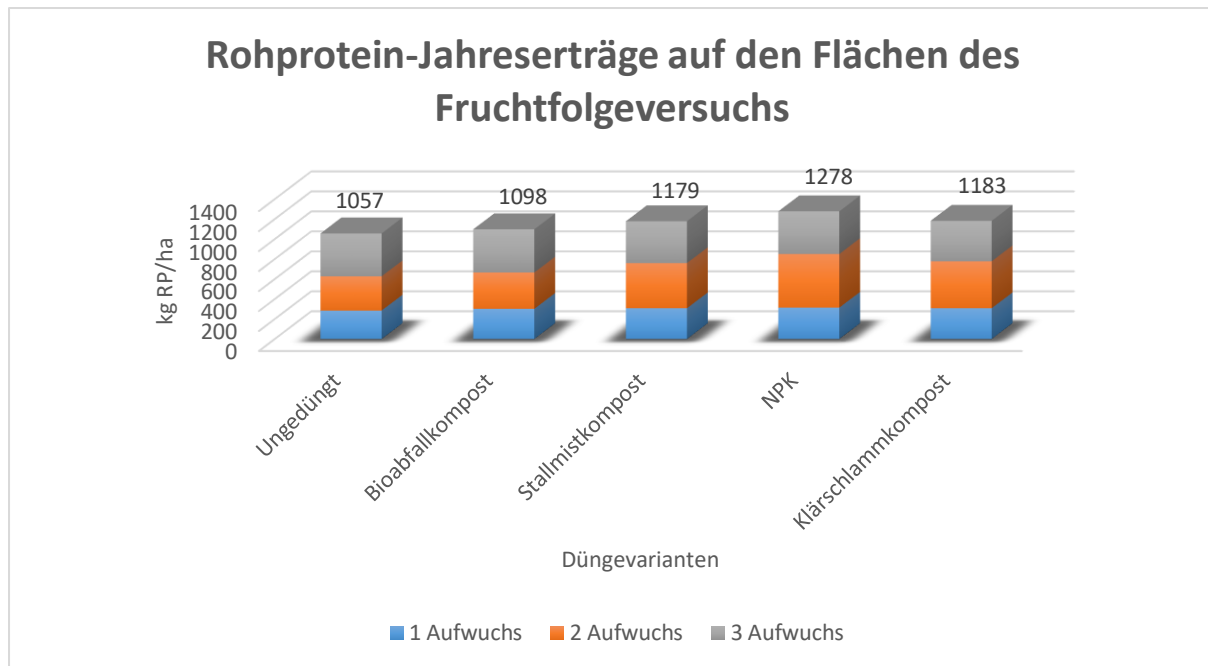


Abb. 45: Rohprotein Jahreserträge des Klee-grasfutters in kg/ha auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Die Rohproteinertäge des Klee-grasfutters auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs zeigen in der Nachwirkung bei gleichen Bodenverhältnissen deutlich geringere Erträge als jene der Fruchtfolgeversuchsflächen. Wiederum der höchste XP-Ertrag mit 911 kg PR/ha wurde in der NPK-Variante erzielt. Die Stallmistkompostvariante und die Bioabfallkompostvarinate mit 869 kg RP/ha sowie die Klärschlammkompostvariante mit 843 kg RP/ha liegen fast gleich auf. Die Ungedüngte Variante liegt mit 697 kg RP/ha weit hinter den anderen Varianten. Diese niedrigen Rohproteinertäge sind durch die niedrigen TM-Erträge, welche in diesem Versuch erzielt wurden, erklärbar. Wiederum ist auch in dieser Fraktion ebenso zu erkennen, dass eine langanhaltende Monokultur die Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit des Bodens sehr stark negativ beeinflusst. Die Rohproteinertäge liegen weit hinter dem österreichischen Durchschnitt von 1.148 kg RP/ha (BMLRT, 2020). Beispielsweise konnte in der Ungedüngten Variante auf den Flächen des Monokulturversuches ein um 33% schlechterer XP-Ertrag als auf der Fläche des Fruchtfolgeversuchs festgestellt werden. Die schlechte Fruchtbarkeit durch den langjährigen Anbau von Silomais bedeutete bei den gedüngten Vergleichsvarianten im Silomaismonokulturversuch Mindererträge von 20 bis 30%.

Die Rohproteinertäge des Klee-grasfutters auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs sind in der Abbildung 46 genau aufgelistet.

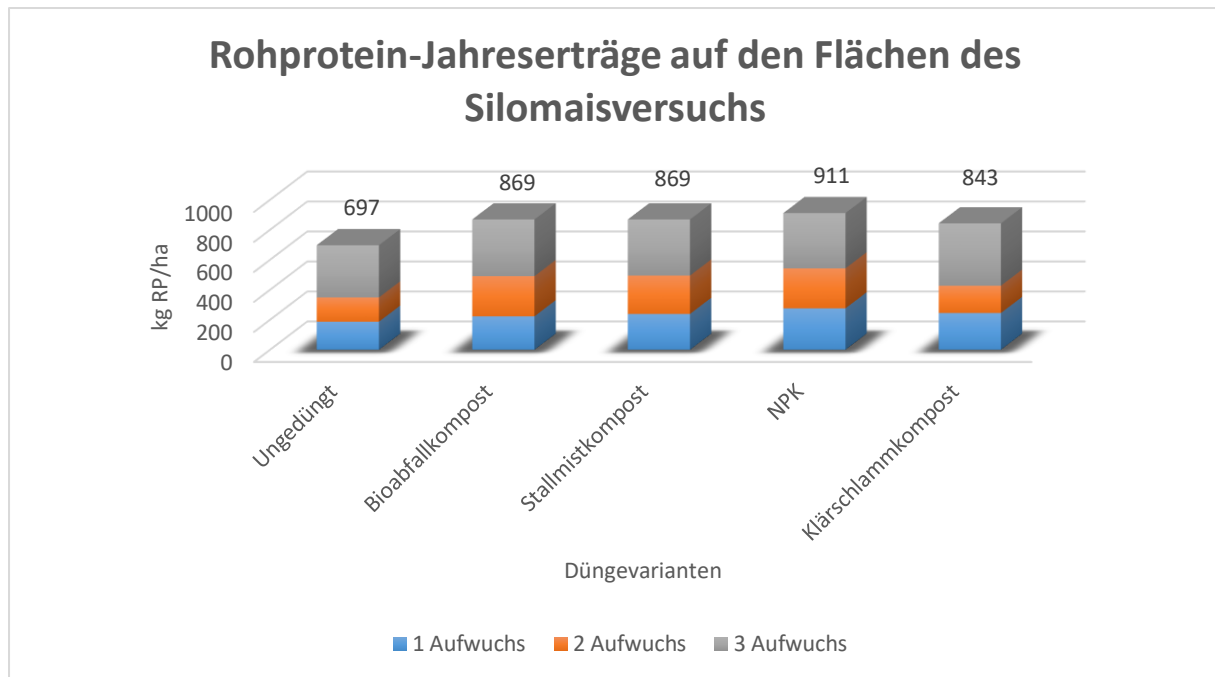


Abb. 46: Rohproteinerträge des Klee-grasfutters in kg/ha auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Die biologische N-Fixierung ist ein wesentlicher Stickstofflieferant für die Landwirtschaft. Die Mengen an N, welche in diesem Versuch produziert wurden, sind über den Rohprotein-ertrag ersichtlich. Dabei wird dieser durch 6,25 dividiert, um auf den N-Entzug zu kommen. Das Problem hierbei ist, dass nicht exakt festgestellt werden kann, welchen Anteil die biologische N-Fixierung ausmacht. Neben dieser Fixierung wird der Pflanze auch durch die Mineralisierung im Boden Stickstoff zur Verfügung gestellt. Es wird davon ausgegangen, dass pro 1% Leguminosenanteil im Klee-gras rund 4 kg N/ha gebildet werden. Auf den Klee-grasflächen des Fruchtfolgeversuchs lag der Leguminosenanteil beim ersten Aufwuchs im Durchschnitt bei 70%. Beim zweiten Aufwuchs bei 76% und der letzte Aufwuchs erzielte einen sehr guten Leguminosenanteil von 94%. Das würde bedeuten, dass im Durchschnitt bei rund 80% Leguminosenanteil á 4 kg pro % und ha in der Symbiose, rund 320 kg N/ha entstanden sind. Diese Stickstoffmenge ist jedoch zu einem gewissen Teil erst in den Folgejahren wirksam. Wie bereits erwähnt, wird auch durch den Boden Stickstoff mineralisiert. Es wird davon ausgegangen, dass bei einer „normalen“ Witterung in etwa 45 bis 50 kg N/ha und Jahr im Boden mineralisiert werden. Bei sehr guten Mineralisierungsbedingungen kann der Wert auf bis zu 75 kg N/ha und Jahr hinauf gehen (Buchgraber, 2019).

Auf den Klee-grasflächen des Fruchtfolgeversuchs lagen die N-Entzüge der fünf Düngevarianten über die Vegetationsperiode hinweg zwischen 169 und 204 kg/ha. Wiederum das beste Ergebnis im Nachwirkungsversuch mit 204 kg N/ha, wurde in der Variante NPK ermittelt. Wird davon ausgegangen, dass die Mineralisierung des Bodens bei 50 kg N/ha und

Jahr liegt, wären beim Nachwirkungsversuch in der Düngevariante NPK in etwa 154 kg N/ha über die biologische Fixierung der Knöllchenbakterien erbracht worden. Im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches wurde in der Ungedüngten Variante ein Jahres-N-Entzug von 169 kg/ha festgestellt. Wiederum wären es hier in etwa 119 kg N/ha, welche über die Rizobientätigkeit produziert wurden. In der Variante Bioabfallkompost wurden insgesamt 192 kg N/ha dem Boden entzogen, die Stallmistkompostvariante liegt bei 188,6 kg N/ha und die Klärschlammvariante bei 189,3 kg N/ha. Um auch hier die Rizobientätigkeit abschätzen zu können, wird wiederum von einer Bodenmineralisierung von 50 kg N/ha und Jahr ausgegangen. Das würde bedeuten, dass im Falle der Bioabfallkompostvariante die N-Fixierung in etwa 142 kg N/ha ausmacht. Die Stallmistkompostvariante weist rund 139 kg N/ha auf, welcher über die Knöllchenbakterien produziert wurde und die Klärschlammkompostvariante kommt ebenso auf 139 kg N/ha. Laut Einschätzung über den Leguminosenanteile im Klee gras wurden rund 320 kg N/ha über die Knöllchenbakterien bereitgestellt. In etwa 150 kg N/ha stehen davon für das Folgejahr 2020 im Boden zur Verfügung.

In der folgenden Abbildung 47 ist der Verlauf der N-Entzüge des Klee grasses in den einzelnen Düngevarianten aufgezeigt. Dabei ist zu erkennen, dass der zweite Aufwuchs bei allen Varianten außer der Variante Ungedüngt am besten war. Der Abfall am Ende der Vegetationsperiode kann mit dem Rückgang der TM-Erträge begründet werden.

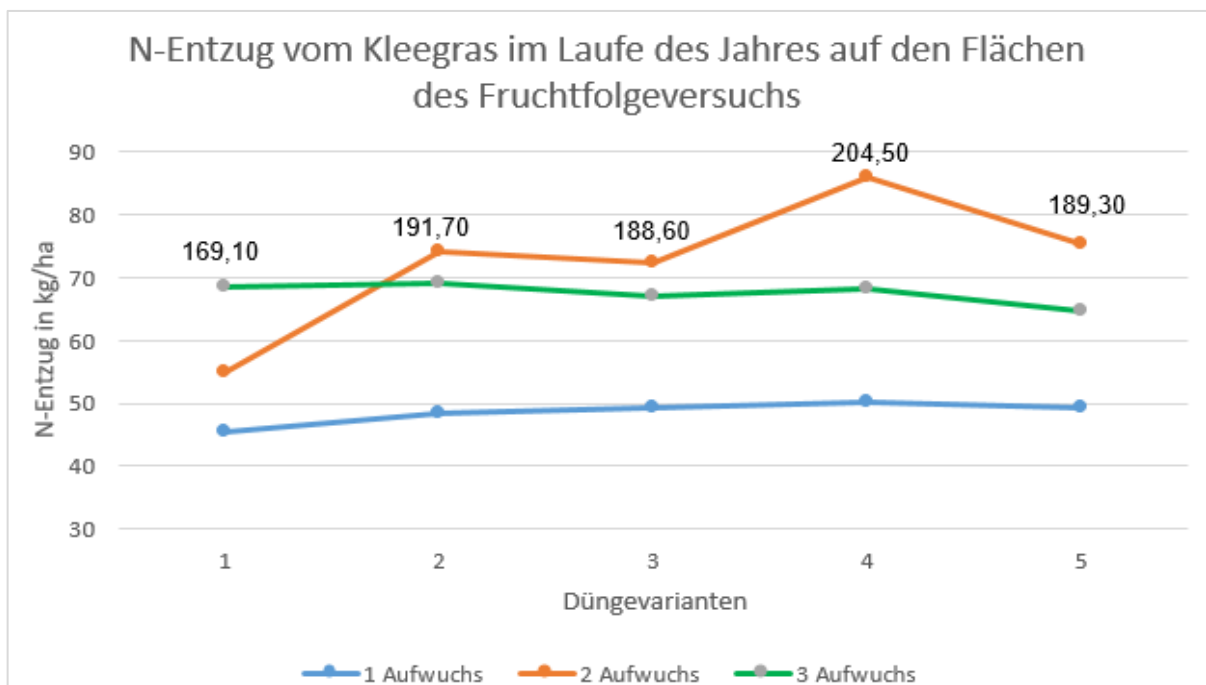


Abb. 47: N-Entzug des Klee grasses im Nachwirkungsversuch unterteilt in die fünf Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Im Nachwirkungsversuch auf den Silomaismonokulturflächen sind die N-Entzüge ebenfalls ermittelt worden. Jedoch sind diese im Vergleich zu den Fruchtfolgeversuchsflächen niedriger. Die N-Entzüge befinden sich zwischen 111 und 145 kg/ha. Wiederum ist auch hier die Variante

NPK mit 145 kg N/ha die Beste. Der Leguminosenanteil liegt beim ersten Aufwuchs im Durchschnitt bei 73%. Beim zweiten Aufwuchs bei 82% und steigt dann beim letzten Aufwuchs auf rund 96% an. Rechnet man pro 1% Leguminosenanteil im Bestand mit 4 kg N/ha, würde über die biologische N-Fixierung rund 335 kg N/ha und Jahr produziert werden. Rechnet man auch hier wieder mit einer Mineralisierung des Bodens von 50 kg N/ha und Jahr, würde es bedeuten, dass in der Variante NPK im Nachwirkungsversuch in etwa 95 kg N/ha über die biologische N-Fixierung geltend gemacht wurde. Die Ungedüngte Variante entzieht mit 111 kg N/ha die geringsten Stickstoffmengen im Nachwirkungsversuch, davon können 61,6 kg N/ha für die biologische N-Fixierung gerechnet werden. Im Nachwirkungsversuch wurde in den Varianten Bioabfall- sowie Stallmistkompost jeweils 139 kg N/ha ermittelt. Zieht man von diesen 139 kg N/ha die 50 kg N/ha für die Mineralisierung im Boden ab, so erhält man 89 kg/ha aus der biologischen N-Fixierung. In der letzten Variante Klärschlammkompost wurde eine Stickstoffmenge von 135 kg/ha festgestellt, davon können 85% der biologischen N-Fixierungsleistung der Leguminosen zugeschrieben werden.

In der Abbildung 48 kann der Verlauf der N-Entzüge in den einzelnen Aufwüchsen des Nachwirkungsversuches abgelesen werden.

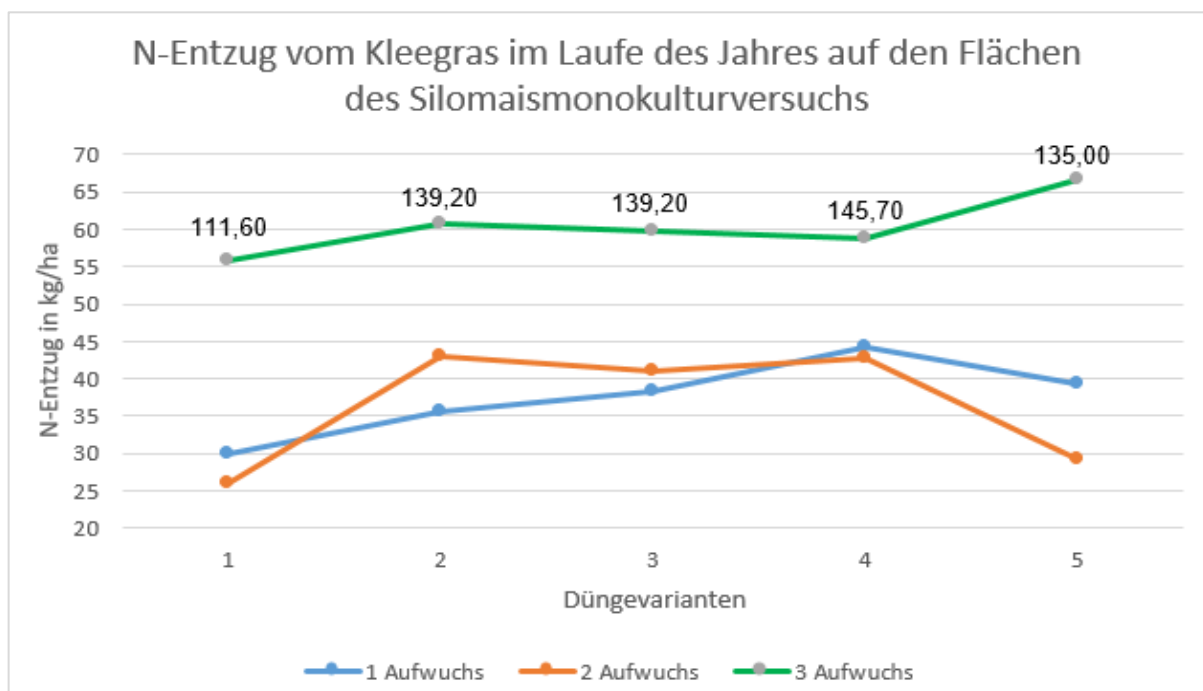


Abb. 48: N-Entzug des Nachwirkungsversuchs im Laufe des Jahres auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, in Bärnbach im Jahr 2019.

Im Versuch von Spiess und Stauffer (2007) lagen die durchschnittlichen N-Entzüge des Rotklee bei rund 376 kg/ha und Jahr. Ziel dieses Versuches war die Feststellung des N-Entzugs durch die vier bis fünfmalige Schnittnutzung der Fläche. Eine jährliche Düngung wurde nur in Form von 50 kg/ha Superphosphat sowie 250 kg/ha an Patentkali durchgeführt (Spiess und Stauffer, 2007). Verglichen mit den Ergebnissen des Nachwirkungsversuches auf

den Flächen des Fruchtfolge- sowie Silomaismonokulturversuches, ist zu erkennen, dass diese deutlich darunter liegen. Vor allem jene des Silomaismonokulturversuches weisen eine erhebliche Differenz auf. Jedoch ist auch zu erwähnen, dass im Nachwirkungsversuch keine Düngung durchgeführt wurde, auch nicht in Form von Phosphor oder Kali. Hierbei wurde ausschließlich die Nachwirkung geprüft, um zu sehen, inwiefern sich der Ertrag und die Inhaltsstoffe, hierbei insbesondere die Schwermetalle, des Kleegrases entwickeln.

3.10. Jahresverlauf der Schwermetallgehalte

Die Verfügbarkeit von Schwermetallen wird von mehreren Faktoren, wie beispielsweise dem pH-Wert, der Sättigungs- und Löslichkeitsgrenze aber auch durch die Bindungsstärke an die Huminstoffe im Boden, beeinflusst. Im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches sowie auf jenen des Silomaismonokulturversuches ergeben sich für die einzelnen Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom und Nickel Jahresverläufe, die in den folgenden Abbildungen näher aufgezeigt werden.

Blei

Für das Schwermetall Blei im Nachwirkungsversuch auf den Klee grasflächen des Fruchtfolgeversuches, liegen die Gehalte in den einzelnen Düngevarianten beim ersten und dritten Aufwuchs in einem ähnlichen Bereich. Der zweite Aufwuchs hingegen zeigte im Jahresverlauf die niedrigsten mittleren Gehalte auf. Der Verlauf der Bleigehalte lässt sich in der Abbildung 49 gut erkennen. Bezogen auf die Pflanzennährstoffe, ist die Verfügbarkeit der Nährstoffe umso besser, je höher der Wassergehalt im Boden ist. Daher kommt es zu einem schlechteren Nährstofftransport im Bereich der Wurzeln, wenn ein Wassermangel im Boden vorherrscht (Bohner, 2014). Laut Buchgraber (2019) könnte es auch bei den Schwermetallen zu einer schlechteren Verfügbarkeit kommen, wenn nicht ausreichend Wasser im Boden verfügbar ist. In der Abbildung 49 sieht man deutlich, dass der zweite Aufwuchs die niedrigsten Schwermetallgehalte aufweist. Österreich litt im Sommer 2019 unter extremer Hitze und geringeren Niederschlägen. So kam es auch im Bezirk Voitsberg, in dem die Versuchsflächen liegen, laut der Hagelversicherung (2020) zu einer Verringerung der Niederschlagsmenge von bis zu 59%. Die hohen Temperaturen und die niedrigen Niederschläge könnten die schlechtere Verfügbarkeit der Schwermetalle beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches erklären.

Vergleicht man die durchschnittlichen Gehalte des Schwermetalls Blei mit jenen der Richtlinie 2002/32/EG (2002) für unerwünschte Stoffe in der Tierernährung, so lässt sich erkennen, dass

die Bleigehalte des Kleegrases in den einzelnen Düngevarianten den zulässigen Höchstgrenzwert von 5 mg/kg TM (für Grünfutter) bei weitem nicht überschreiten. Daher ist davon auszugehen, dass bei der Verfütterung dieses Kleegrases keine potenzielle Gefahr ausgeht.

Für das Schwermetall Blei konnte bei allen drei Aufwüchsen kein signifikanter Unterschied zwischen den fünf Düngevarianten festgestellt werden.

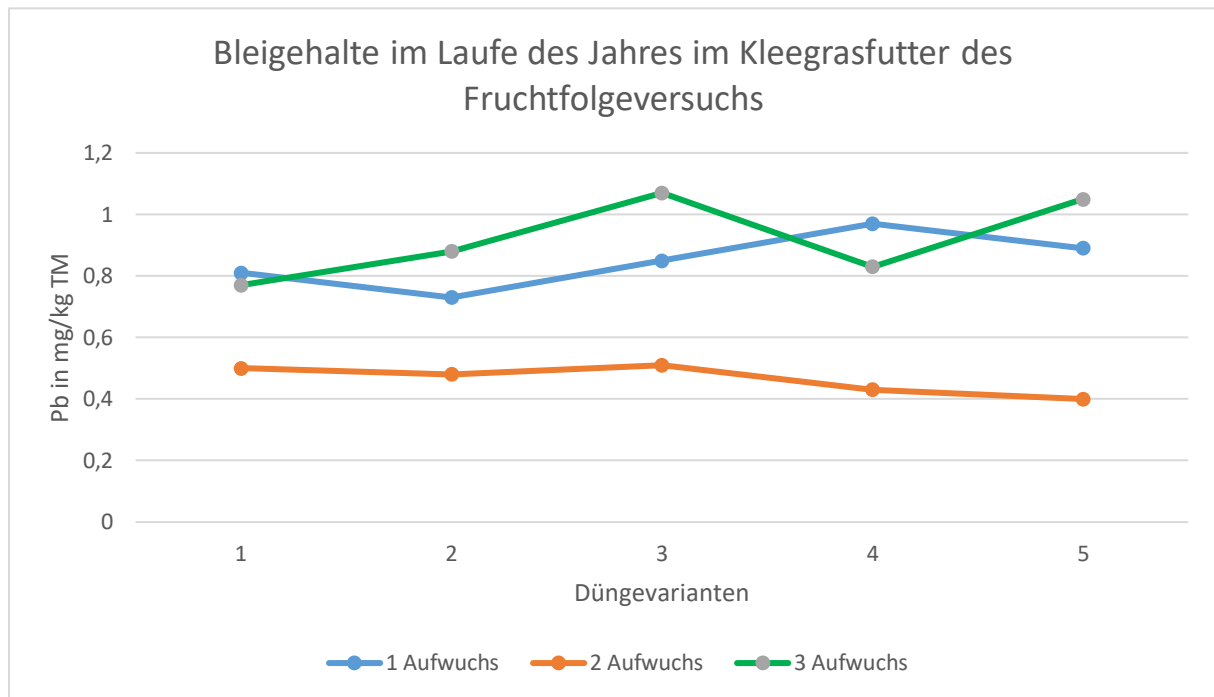


Abb. 49: Jahresverlauf der Bleigehalte im Nachwirkungsversuch, im Kleegrasfutter der Fruchtfolgeversuchsflächen, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Ein ähnliches Verlaufsbild zeigt sich auch im Nachwirkungsversuch auf den Klee grasflächen des Silomaismonokulturversuches für das Element Blei. Im Laufe des Jahres 2019 ergeben sich ebenfalls beim zweiten Aufwuchs die niedrigsten Gehalte. Der Jahresverlauf für das Schwermetall Blei im Nachwirkungsversuch, ist in der Abbildung 50 zu erkennen. Die Gehalte der Düngevarianten eins bis drei des dritten Aufwuchses beim Nachwirkungsversuch im Klee grasfutter liegen nicht sehr viel höher als jene des zweiten Aufwuchses. Vor allem bei den letzten beiden Düngevarianten, NPK- und Klärschlammkompostvariante, kommt es zu einem deutlich erkennbaren Anstieg der Bleigehalte im dritten Aufwuchs. In der Abbildung 50 ist ersichtlich, dass der Grenzwert von 5 mg/kg TM in keiner der Düngevarianten überschritten wurde. Wiederum wird auch hier der Grenzwert von 5 mg/kg TM für das Grünfutter von der EU-Richtlinie 2002/32/EG (2002) herangezogen.

Der Jahresverlauf des Schwermetalls Blei im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches kann in der folgenden Abbildung 50 abgelesen werden.

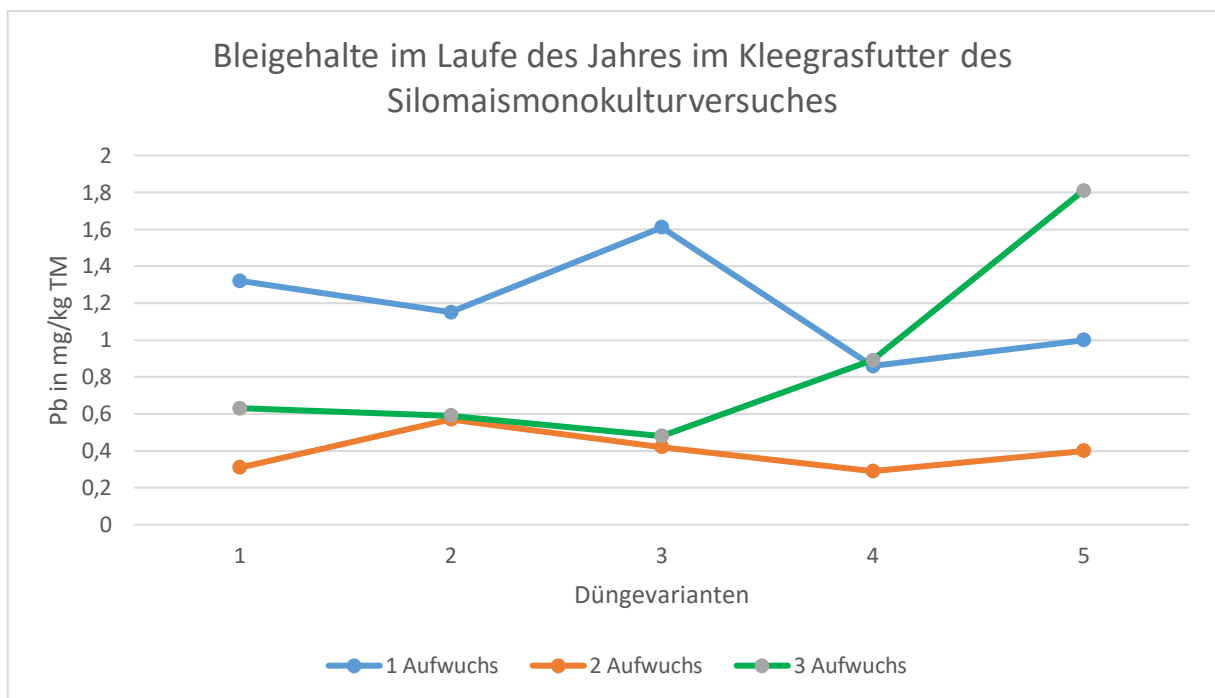


Abb. 50: Jahresverlauf der Bleigehalte im Nachwirkungsversuch auf den Klee-grasflächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Chrom

Für das Schwermetall Chrom ergibt sich ein fast gleiches Verlaufsbild der Aufwüchse, wie beim Element Blei. Der Jahresverlauf für die Chromgehalte im Nachwirkungsversuch auf den Fruchtfolgeversuchsflächen ist in der Abbildung 51 zu erkennen. Dabei ist auch hier wiederum zu sehen, dass der zweite Aufwuchs die niedrigsten durchschnittlichen Gehalte über alle fünf Düngevarianten hinweg aufweist. Ein Grund dafür könnte ebenfalls die niedrigere Niederschlagsmenge im Sommer 2019 sein. Der erste und dritte Aufwuchs sind in einem ähnlichen Bereich angesiedelt. Wie bereits erwähnt gibt es auf EU-Ebene im Tierernährungsbereich keinen Grenzwert für das Schwermetall Chrom. Laut Mengel und Kirkby (2001) sollte der Chromgehalt in Futtermitteln nicht über 50 bis 3.000 mg/kg TM hinausgehen. Nimmt man den Grenzwert von 50 mg/kg TM als Höchstgrenze an, kann daraus geschlossen werden, dass die durchschnittlichen Chromgehalte im Klee-gras bei allen drei Aufwüchsen im Nachwirkungsversuch in den einzelnen Düngevarianten in einem sehr geringen Bereich liegen. Daher ist auch bei diesem Schwermetall davon auszugehen, dass bei der Verfütterung des Klee-grasfutters keine Gefahr ausgeht.

Für den Parameter Chrom wurde bei allen drei Aufwüchsen kein signifikanter Unterschied zwischen den fünf Düngevarianten festgestellt. Der p-Wert der Modelle lag jeweils über dem Signifikanzniveau von 0,05, somit kann für das Schwermetall Chrom bei jedem Aufwuchs die

Nullhypothese (es gibt keinen Unterschied zwischen den Düngevarianten) angenommen werden.

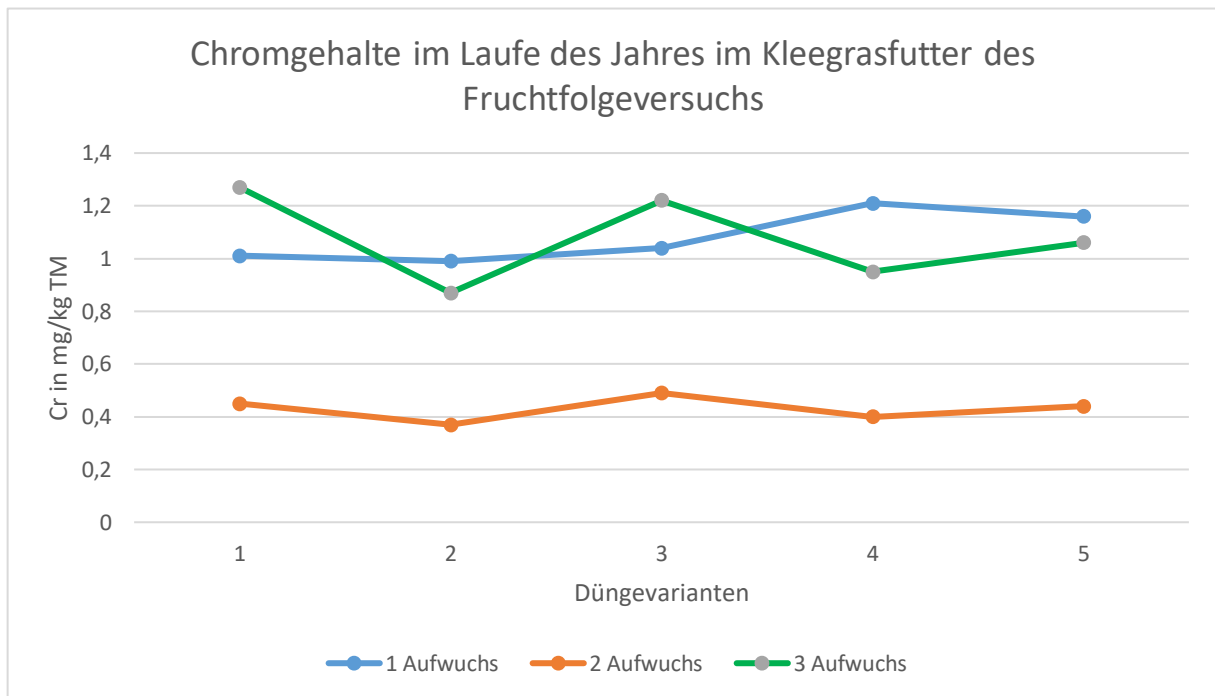


Abb. 51: Jahresverlauf der Chromgehalte in den verschiedenen Düngevarianten im Nachwirkungsversuch (Klee gras) auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Für das Schwermetall Chrom im Klee grasfütter auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, spiegelt sich ein sehr ähnliches Bild ab, wie auf den Fruchtfolgeversuchsflächen. Hierbei ist wiederum auch der zweite Aufwuchs am niedrigsten. Einen starken Anstieg verzeichnet die Klärschlammkompostvariante mit 2,40 mg/kg TM im Nachwirkungsversuch beim dritten Aufwuchs. Dieser Peak ist deutlich in der Abbildung 52 zu erkennen. Der Anstieg der Gehalte im letzten Aufwuchs in der Klärschlammkompostvariante konnte auch, wie bereits erwähnt, beim Schwermetall Blei festgestellt werden. Ebenso wie beim Klee gras auf den Fruchtfolgeversuchsflächen, kann auch auf den Silomaismonokulturversuchsflächen, der Grenzwert für Chrom von 50 mg/kg TM herangezogen werden (Mengel und Kirkby, 2001). Die mittleren Gehalte im Nachwirkungsversuch liegen in einem sehr niedrigen Bereich, und stellen daher bezogen auf dem Chromgehalt keine Gefahr bei der Verfütterung dar. Auf EU-Ebene gibt es im Bereich des Schwermetalls Chrom keine gesetzliche Höchstgrenze für Futtermittel.

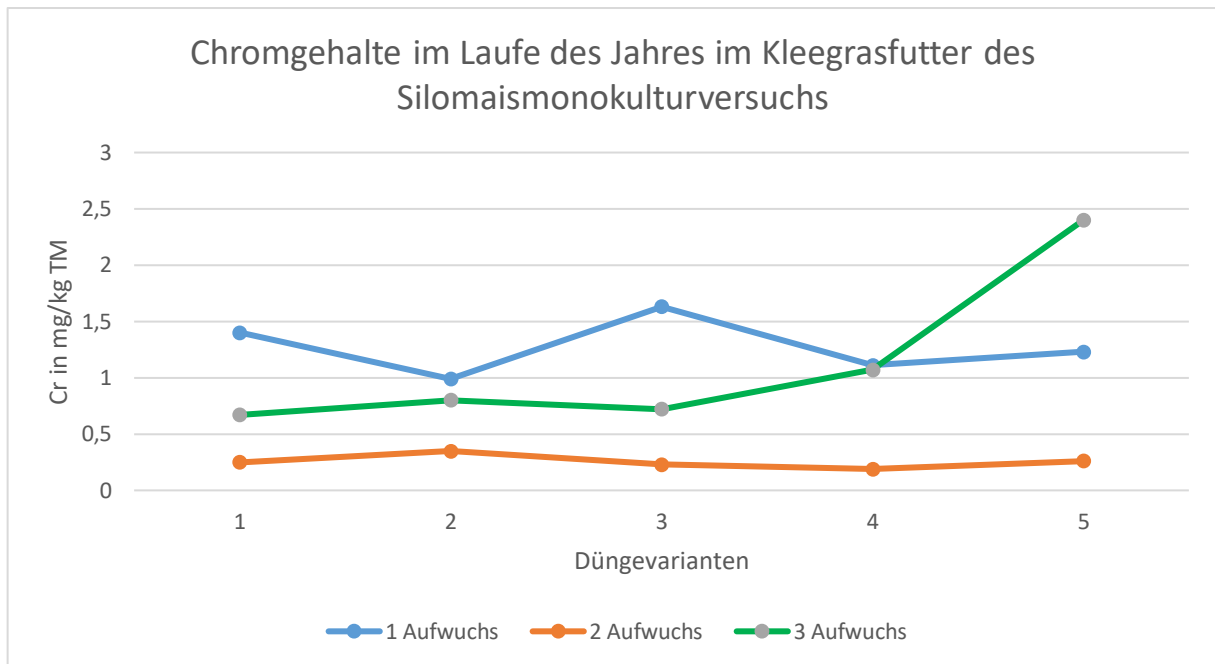


Abb. 52: Jahresverlauf der Chromgehalte in den fünf Düngevarianten im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Nickel

Im Bereich des Schwermetalls Nickel ergibt sich ebenfalls ein Jahresverlauf im Nachwirkungsversuch für die Flächen des Fruchtfolgeversuches. Dieser Verlauf ist in der folgenden Abbildung 53 ersichtlich. Wiederum zeigen sich auch hier bei diesem Schwermetall die niedrigsten Gehalte beim zweiten Aufwuchs. Für das Element Nickel kann ebenso die Annahme von Buchgraber (2019) herangezogen werden, dass durch eine schlechtere Verfügbarkeit von Wasser im Boden auch die Schwermetallverfügbarkeit für die Pflanze geringer ist, da beim zweiten Aufwuchs im Durchschnitt die niedrigsten Gehalte festgestellt wurden. Ebenso wie für das Schwermetall Chrom, gibt es auch für Nickel keine gesetzlich geregelte Höchstgrenze auf EU-Ebene für Futtermittel. Für diesen Versuch wird der Grenzbereich von Mengel und Kirkby (2001) als Vergleich herangezogen. Dieser liegt für Futtermittel zwischen 50 und 60 mg/kg TM. Beispielsweise wurden in der Variante Klärschlammkompost im Durchschnitt über alle drei Aufwüchse hinweg ein Nickelgehalt von 1,32 mg/kg TM ermittelt. Dieser Gehalt liegt rund 97% unter dem Grenzwert von 50 mg/kg TM. Die Düngevariante Bioabfallkompost, mit einem Durchschnittsgehalt von 1,17 mg/kg TM, liegt ebenso rund 97% unter dem Grenzwert, welcher von Mengel und Kirkby (2001) angegeben wird.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den fünf Düngevarianten über alle drei Aufwüchse hinweg wurde bei diesem Schwermetall nicht festgestellt.

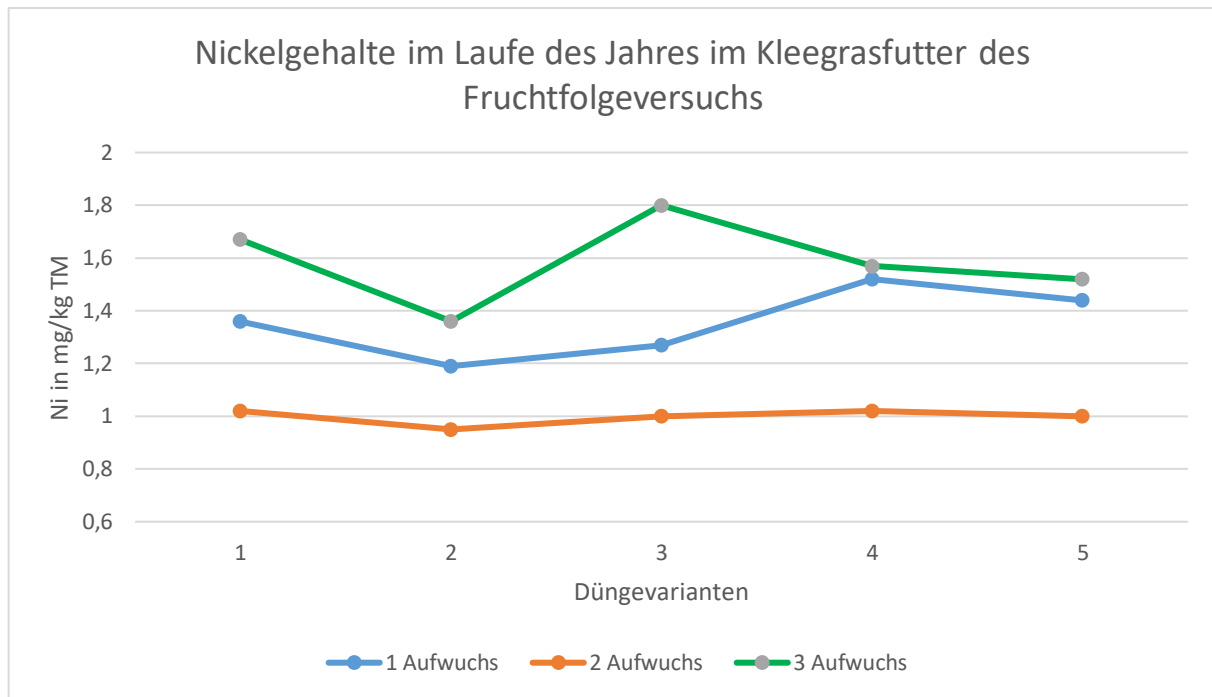


Abb. 53: Nickelgehalte im Klee-grasfütter im Laufe des Jahres in den verschiedenen Düngevarianten im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Der Jahresverlauf für das Schwermetall Nickel im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches ist in der Abbildung 54 ersichtlich. Wiederum weist auch hier, wahrscheinlich aufgrund der Trockenheit im Sommer, der zweite Aufwuchs die niedrigsten durchschnittlichen Gehalte auf. Verglichen mit den Jahresverläufen der beiden Schwermetalle Blei und Chrom, ist für Nickel ebenso ein starker Anstieg in der Klärschlammkompostvariante im dritten Aufwuchs zu erkennen. Dieser Peak in der Klärschlammkompostvariante, wie er bei allen drei Schwermetalle zu sehen ist, kann durch verschiedene Faktoren entstanden sein. Beeinflussende Faktoren können der pH-Wert, die Bindungsstärke der einzelnen Schwermetalle, die Wasserverfügbarkeit im Boden etc. sein, die wiederum zu einer erhöhten Verfügbarkeit der Schwermetalle führen. Vergleicht man die durchschnittlichen Gehalte des Elements Nickel aus diesem Versuch mit dem Grenzbereichen (50 mg/kg TM) von Mengel und Kirkby (2001), so ist zu erkennen, dass die Gehalte des Klee-grases auch auf den Silomaismonokulturversuchsflächen deutlich unter diesem Grenzbereich liegen.

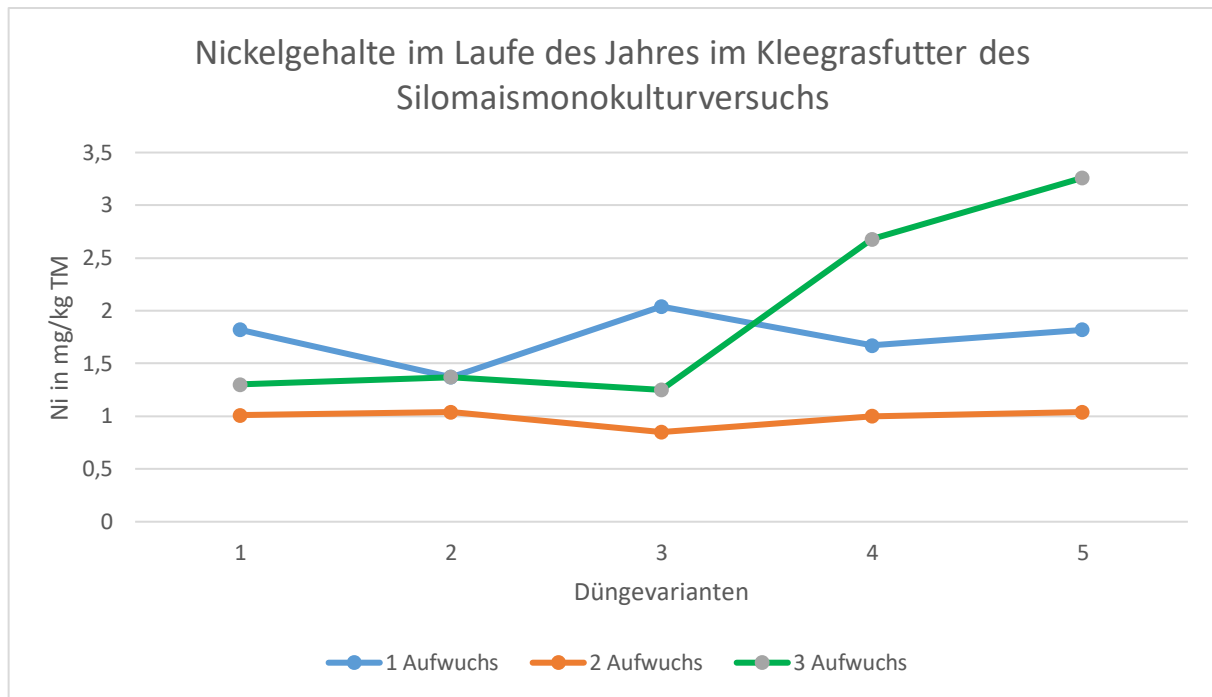


Abb. 54: Nickelgehalte im Jahresverlauf im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Cadmium

Für das Schwermetall Cadmium ergibt sich ein deutlich anderer Verlauf über das Jahr als für die Elemente Chrom, Nickel und Blei. In der Abbildung 55 können die Cadmiumgehalte der drei Aufwüchse im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs abgelesen werden. Hierbei ist nach dem ersten Aufwuchs ein starker Abfall der Gehalte zu erkennen. Ab dem zweiten Aufwuchs liegen die Gehalte in den einzelnen Düngevarianten beim Nachwirkungsversuch in einem sehr eng angesiedelten Bereich. Mit einer Spannweite von 0,04 bis 0,16 mg/kg TM liegen die mittleren Gehalte der einzelnen Düngevarianten weit unter der Höchstgrenze von 1,0 mg/kg TM, welche in der EU-Richtlinie 2002/32/EG (2002) angegeben ist. In einem ähnlichen Bereich ist auch die Höchstmenge von Mengel und Kirkby (2001) mit 0,5 bis 1 mg/kg TM angesiedelt. Im Durchschnitt wurde in der Klärschlammkompostvariante über alle drei Aufwüchse hinweg ein Cadmiumgehalt von 0,08 mg/kg TM ermittelt. In Prozent ausgedrückt liegt dieser Cadmiumgehalt rund 92% unter dem Grenzwert von 1,0 mg/kg TM, wie er in der EU-Richtlinie 2002/32/EG für Alleinfuttermittel angegeben ist. Wiederum geht auch hier bei der Verfütterung dieses Klee-grases keine Gefahr von erhöhten Cadmiumgehalten aus.

Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Düngevarianten bei allen drei Aufwüchsen hinsichtlich dem Schwermetall Cadmium.

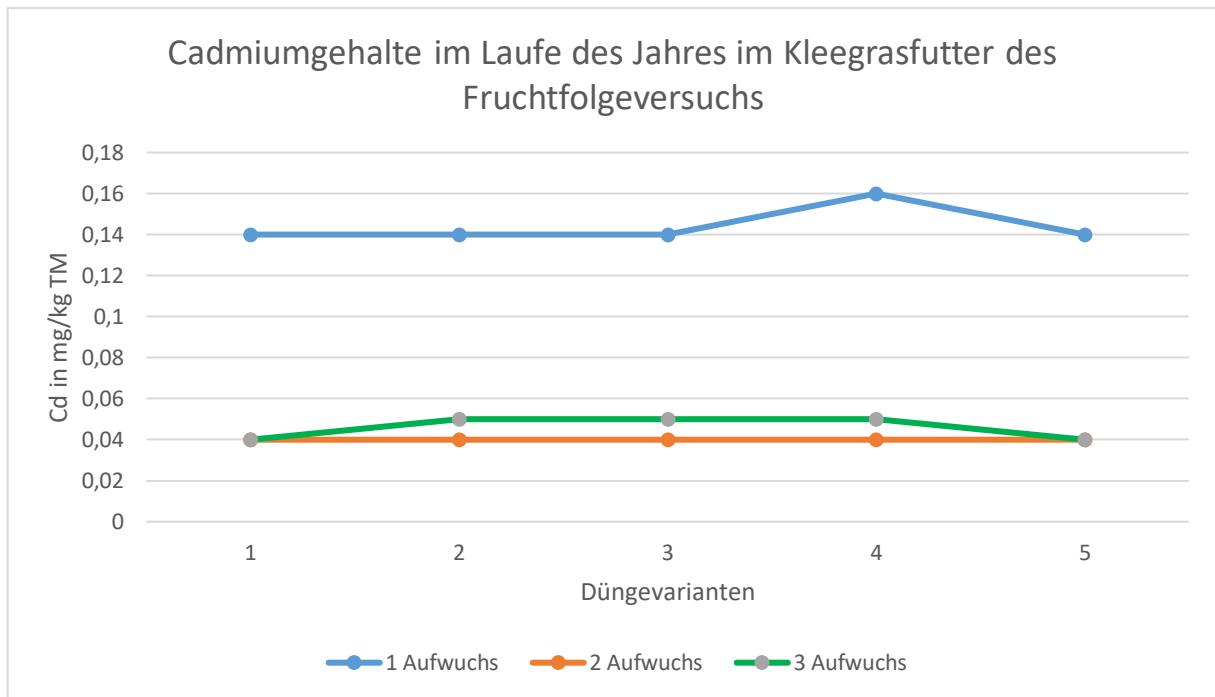


Abb. 55: Cadmiumgehalte im Klee grasfütter im Laufe des Jahres im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Beim Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs ergeben sich ebenfalls im ersten Aufwuchs die höchsten Cadmiumgehalte. Gleich wie bei den Flächen des Fruchtfolgeversuchs kommt es auch bei den Silomaismonokulturversuchsflächen beim letzten dritten Aufwuchs nochmals zu einem leichten Anstieg in der Klärschlammkompostvariante. Zwar ist dieser Anstieg auf den Silomaismonokulturversuchsflächen unter jenen Gehalten des ersten Aufwuchses, dennoch kommt es noch einmal zu einer Verdopplung der Gehalte aus dem zweiten Aufwuchs. Die Cadmiumgehalte im Laufe der drei Aufwüchse können in der folgenden Abbildung 56 abgelesen werden. Laut der EU-Richtlinie 2002/32/EG (2002) dürfen Alleinfuttermittel sowie Futtermittel aus pflanzlichem Ursprung einen Cadmiumgehalt von 1,0 mg/kg TM nicht überschreiten. Auch von Mengel und Kirkby (2001) wird ein ähnlicher Bereich mit 0,5 bis 1,0 mg/kg TM, angegeben. Weder die Klärschlammkompost- noch die Bioabfallkompostvariante zeigen einen erhöhten mittleren Gehalt über alle drei Aufwüchse hinweg. Dadurch kann auch hier die Annahme getroffen werden, dass bei der Verfütterung des Klee grasses keine Gefahr bezüglich des Schwermetalls Cadmium ausgeht.

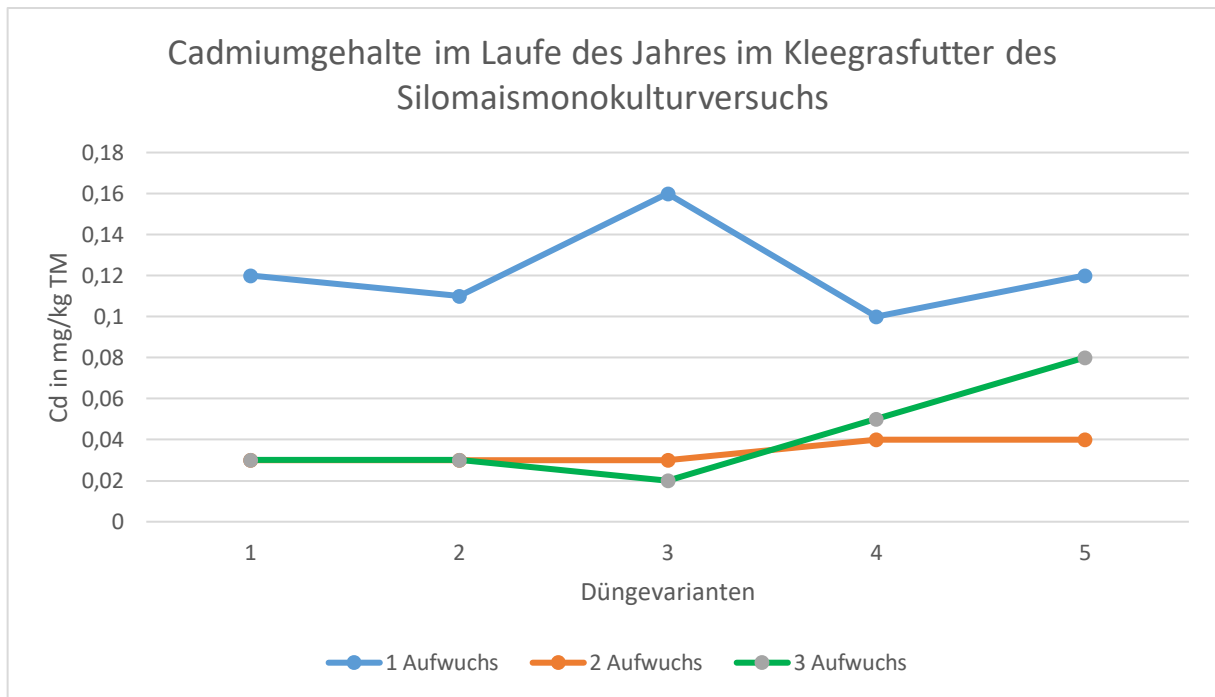


Abb. 56: Cadmiumgehalte im Klee-grasfütter im Laufe des Jahres im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.

Für die Schwermetalle Blei, Chrom und Nickel ergeben sich sehr vergleichbare Verläufe über das Jahr hinweg. Bei allen drei Elementen wurde der niedrigste durchschnittliche Gehalt beim zweiten Aufwuchs festgestellt. Das Element Cadmium weicht vollkommen von dieser Abfolge ab. Hierbei kommt es beim Klee-grasfütter sowohl auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches als auch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches nach dem ersten Aufwuchs zu einem Abfall der Cadmiumgehalte. Ein Grund dafür könnte sein, dass Cadmium eine geringere Affinität aufweist und daher leichter verdrängt werden kann und in Lösung geht (Stichler et al., 1987). Das Schwermetall Cadmium wurde daher beim ersten Aufwuchs leichter von der Pflanze aufgenommen. Weiters könnten auch leichte pH-Wert-Veränderungen dazu führen, dass Schwermetalle mehr oder weniger stark an die organische Substanz gebunden werden (Dües, 1987). Generell kann gesagt werden, dass der Jahresverlauf aller Schwermetalle im Klee-grasfütter wahrscheinlich durch die Trockenheit im Sommer, dem pH-Wert im Boden, der Bindungsstärke der einzelnen Schwermetalle, sowie auch vom Sättigungs- und Löslichkeitsgrad beeinflusst wurden (Gupta et al., 2019; Dües, 1987). Schlussendlich ist jedoch noch einmal zu erwähnen, dass alle Schwermetallgehalte unter den vorgegebenen Grenzwerten der Literatur liegen. Erwähnenswert ist auch, dass weder die Klärschlammkompost- noch die Bioabfallkompostvariante erhöhte bzw. gefährlich anzunehmende Gehalte bei allen Schwermetallen der drei Aufwüchse aufweisen. Es ergibt sich auch bei keinem der drei Aufwüchse ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Düngevarianten bezüglich der Schwermetallgehalte. Schlussendlich kann festgestellt werden,

dass die Düngungsvarianten des vorgelagerten Fruchtfolge- sowie Silomaismonokulturversuches keinen signifikanten Einfluss auf die Schwermetallbelastung des Klee-grasfutters haben.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Aufgrund der Ergebnisse dieses Nachwirkungsversuches kann festgestellt werden, dass eine langjährige Klärschlamm- als auch Bioabfallkompostdüngung keinen signifikanten Einfluss gegenüber anderen Düngevarianten auf den Schwermetallgehalt des später angebauten Klee-grasfutters hat. Voraussetzung für solche Ergebnisse ist jedoch, dass die Gehalte im Ausgangsmaterial (Klärschlamm- oder Bioabfallkompost) der Qualitätsklasse A bzw. A+ entsprechen (BGBI, 2001). Weiters sind für den praktischen Einsatz auch die Schwermetallgehalte des Bodens zu ermitteln. Dies sollte bereits vor der ersten Ausbringung erfolgen. Durch das Verwenden des besten Ausgangsmaterials sowie auch die Wahl eines unbelasteten Bodens, kann die Schwermetallbelastung trotz der Düngung von Klärschlamm- und Bioabfallkompost in der Nachwirkung geringgehalten werden. Zu Beginn des Nachwirkungsversuches wurden Bodenproben analysiert, diese zeigen zwar einen Anstieg der Schwermetalle im Boden gegenüber dem Jahr 2001, dennoch liegen alle Gehalte deutlich unter den Schwermetallgrenzen, welche in der Steiermärkischen Klärschlammverordnung (2007) angegeben sind. Hierbei ist auch zu erwähnen, dass nicht immer in der Klärschlamm- oder Bioabfallkompostvariante die durchschnittlich höchsten Schwermetallgehalte im Boden festgestellt wurden. Weiters weist keines der Schwermetalle in diesem Nachwirkungsversuch erhöhte Gehalte im Klee-grasfutter auf. Weder in der Variante Klärschlammkompost noch in der Bioabfallkompostvariante, welche oftmals als starke Schwermetallquelle gelten, konnten erhöhte Gehalte im Klee-grasfutter festgestellt werden. Sieht man sich den Jahresverlauf der einzelnen Schwermetalle im Kapitel 3.10 genauer an, so lässt sich deutlich erkennen, dass nicht immer diese beiden Düngevarianten die höchsten Durchschnittsgehalte aufweisen. Beispielsweise wurde beim Klee-gras auf den Fruchtfolgeversuchsflächen beim Schwermetall Blei der höchste mittlere Gehalt in der Düngevariante Stallmistkompost festgestellt. Dieser liegt dennoch weit unter der Höchstgrenze von 5,0 mg/kg TM für Alleinfuttermittel, wie er in der EU-Richtlinie 2002/32/EG angegeben ist. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass mineralische Dünger ohne jegliche Schwermetallbelastung auf den Markt kommen. Beispielsweise wird Phosphor aus phosphorhaltigen Erzen gewonnen. Diese Erze können jedoch oftmals auch in hohen Konzentrationen unerwünschte Begleitstoffe wie Cadmium, Thallium oder auch Uran beinhalten (Egle et.al, 2016). Dadurch lässt sich auch erklären, weshalb das Klee-grasfutter in der Variante NPK ebenso Schwermetallgehalte im Nachwirkungsversuch aufweist.

Im Hinblick auf die TM-Erträge, ist deutlich zu sehen, dass das Klee-grasfutter auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches geringere Erträge in diesem Nachwirkungsversuch erzielte. Der langjährige Anbau von Silomais führte zu einem niedrigen Nährstoffgehalt im Boden, wodurch die TM-Erträge des Klee-grases zu Beginn des Versuches niedrig waren. Über den Verlauf des Nachwirkungsversuchs, verbesserte sich jedoch der TM-Ertrag des Klee-grases. Bei beiden Versuchsflächen, zeigt die NPK Variante mit 7.020 kg TM/ha sowie 4.885 kg TM/ha den höchsten Jahresertrag. Die NPK Düngung im vorgelagerten Versuch förderte sehr stark das Wurzelwachstum. Durch diese hohe Wachstumsrate wurde organische Masse in Form von Wurzeln gebildet, was wiederum dazu führte, dass die TM-Erträge in der Nachwirkung sehr gut waren. Würde dieser Nachwirkungsversuch jedoch in den Folgejahren fortgeführt werden, wäre sicherlich mit einem Einbruch des TM-Ertrags in dieser Variante zu rechnen. Die Variante NPK weist einen geringeren Anteil an organische Masse im Boden auf als die Kompostvarianten, wodurch sie nicht in der Lage wäre, den TM-Ertrag auf lange Sicht auf diesem Niveau zu halten. Bauer und Förstel (2019) erkannten ebenso in ihrer Arbeit, dass eine langjährige Düngung mit mineralischen Düngern, wie NPK, eine starke Abnahme der Humusgehalte bewirken könnte (Bauer und Förstel, 2019). Hingegen weisen die Kompostdüngewarianten höhere Anteile an organischer Masse auf. Was wiederum darin resultiert, dass Humus aufgebaut wird und das Bodenleben gefördert wird (Buchgraber, 2019). In der Düngewariante Ungedüngt wurden über den Nachwirkungsversuch hinweg sowohl auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches als auch auf jenen des Fruchtfolgeversuchs mit 6.115 kg TM/ha sowie 4.885 kg TM/ha die geringsten Jahreserträge festgestellt. Jedoch ist jener TM-Ertrag der Fruchtfolgeversuchsfläche in der Nachwirkung mit 6.115 kg TM/ha höher, was wiederum zeigt, dass durch eine ausgeglichene Fruchtfolge die Ertragsfähigkeit des Bodens gut erhalten bleibt. Im Bereich der Rohprotein-erträge ist ein ähnliches Verlaufsbild zu erkennen. Wiederum die höheren XP-Erträge im Nachwirkungsversuch wurden auf der Fläche des Fruchtfolgeversuchs festgestellt.

5. Zusammenfassung

In der heutigen österreichischen Landwirtschaft sind die Bestrebungen einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft sehr groß. Nahezu 100% der Grünlandflächen werden mit wirtschaftseigenen Düngern gedüngt (Buchgraber, 2018). Zu dieser bereits bestehenden tierischen Kreislaufwirtschaft könnte man auch den Menschen mit seinen biogenen Abfällen sowie dessen Ausscheidungen hinzufügen. Da der Mensch durch den Konsum von tierischen sowie pflanzlichen Lebensmitteln Nährstoffe aus dem Kreislauf nimmt, die im Normalfall nicht mehr zurückgeführt werden, könnte man durch diese Düngevarianten den gesamten Kreislauf schließen. Jedoch können diese biogenen Abfälle sowie der Klärschlamm neben den wertvollen Nährstoffen aber auch Schadstoffe wie Schwermetalle, Medikamentenrückstände, Krankheitserreger etc. enthalten, welche ebenso kritisch betrachtet werden müssen. Um solche Düngevarianten, wie die Klärschlamm- und Bioabfallkompostdüngung, überhaupt durchführen zu können, bedarf es einiger Maßnahmen, die im Vorfeld getroffen werden müssen. Bei der Kompostierung darf nur bestes Ausgangsmaterial verwendet werden, um dadurch die Qualitätsklasse A bzw. A+ zu erreichen. Weiters sollten auch Bodenproben vor sowie während der Düngung analysiert werden, damit nur Böden verwendet werden, welche laut der Steiermärkischen Klärschlammverordnung keine erhöhte Schwermetallbelastung aufweisen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Schwermetallgehalten nach einer langjährigen Düngung mit Klärschlamm- und Bioabfallkompost. Diesem sogenannten Nachwirkungsversuch ist ein Düngeversuch mit jeweils einer Fruchtfolgeversuchsfläche und einer Silomaismonokulturversuchsfläche vorgelagert. In beiden Versuchsflächen wurden fünf Düngevarianten mit jeweils vier bzw. fünf Wiederholungen über 20 Jahre lang angewendet. Die Düngevarianten unterteilten sich in Ungedüngt (1), Bioabfallkompost (2), Stallmistkompost (3), NPK (4) und Klärschlammkompost (5). Hierbei wurde der direkte Einfluss der verschiedenen Düngevarianten auf den Schwermetallgehalt von verschiedenen Ackerkulturen ermittelt. Im nachgelagerten Nachwirkungsversuch, welcher in dieser Arbeit betrachtet wird, wurde keine Düngung mehr durchgeführt, um die direkten Auswirkungen des vorgelagerten Düngeversuches zu ermitteln.

Ziel des Nachwirkungsversuches ist es, die Inhaltsstoffe hierbei vor allem die Schwermetallgehalte sowie den TM-Ertrag des Kleeergrasfutters genauer zu betrachten. Zu Beginn dieses Versuchs wurden Bodenproben gezogen, welche auf Schwermetallgehalte untersucht wurden. Dabei zeigte sich, dass zwischen den Jahren 2001 und 2018 ein Anstieg der Schwermetallgehalte in allen fünf Düngevarianten zu verzeichnen ist. Als Vergleichswerte wurden die Grenzwerte der Steiermärkischen Klärschlammverordnung herangezogen. Dabei wurde in keiner der Düngevarianten im Jahr 2018 der Grenzwert dieser Verordnung

überschritten. Erwähnenswert ist hierbei auch, dass in den Varianten Ungedüngt, Stallmistkompost sowie NPK nach dem 20-jährigen Düngeversuch ebenso ein Anstieg der Schwermetalle zu verzeichnen ist. Diese drei Varianten wurden als Vergleichsvarianten im Düngeversuch angelegt und sollten grundsätzlich nur geringe bis gar keine Schwermetalle aufweisen.

Im Verlauf des Nachwirkungsversuches wurden drei Aufwüchse des Klee-grasfutters geerntet und analysiert. Bezüglich der TM-Erträge des Klee-grasfutters zeigte sich zwischen den Silomaismonokulturversuchsflächen und dem Fruchtfolgeversuchsflächen ein deutlicher Unterschied. Die TM-Erträge auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches liegen eher in einem niedrigeren Bereich (3.670 bis 4.885 kg TM/ha), was durch den langjährigen Silomaisanbau begründet werden kann. Hierbei zeigt sich deutlich, dass durch eine anhaltende Monokultur die Fruchtbarkeit des Bodens stark zurückgeht. Der größte Unterschied ergab sich in der Variante Ungedüngt. Lagen die Jahreserträge des Klee-grases in dieser Düngevariante auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs bei 6.115 kg TM/ha, sind es auf den Silomaismonokulturversuchsflächen nur 3.670 kg TM/ha. In Prozent ausgedrückt, ergibt sich ein Unterschied von 66,6%. In den anderen Düngevarianten ergibt sich ebenso ein Unterschied zwischen den beiden Versuchsflächen, wobei in diesem Nachwirkungsversuch immer die Flächen des Fruchtfolgeversuches die besseren Jahreserträge lieferten. Beispielsweise ist der Jahres-TM-Ertrag in der Klärschlammkompostvariante auf den Fruchtfolgeversuchsflächen um 46% höher als auf jener des Silomaismonokulturversuches. Diese Zahlen zeigen deutlich, dass eine abwechslungsreiche Fruchtfolge den Boden ertragsfähiger bleiben lässt.

Im Bereich der Schwermetallgehalte im Klee-grasfutter konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs festgestellt werden. Was wiederum zeigt, dass eine langjährige kreislaufbezogene Düngung mit qualitativen Klärschlamm- als auch Bioabfallkompost gegenüber den anderen Düngevarianten keinen signifikanten Einfluss auf den Schwermetallgehalt des im Nachwirkungsversuch angebauten Klee-grasfutters hat. Die Gehalte der Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom und Nickel wurden in diesem Versuch mit den Grenzwerten, welche für tierische Futtermittel vorgegeben sind, verglichen. Hierbei wurden die Grenzwerte der EU-Verordnung 2002/32/EG (2002) sowie jene von Mengel und Kirkby (2001) zum Vergleich herangezogen. Die Ergebnisse zeigen, dass in den drei Aufwüchsen in keiner der Düngevarianten, bezogen auf die Schwermetallgehalte, ein erhöhter und dadurch gefährlich anzunehmender Gehalt ermittelt wurde.

6. Literaturverzeichnis

- Amelung, W.; Blume, H.P.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretzschmar, R.; Stahr, K. und Wilke, B.M. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 17., aktualisierte Aufl., Berlin: Springer Spektrum Verlag.
- Amt der Burgenländischen Landesregierung (1990): Gesetz vom 18. Juni 1990 über den Schutz landwirtschaftlicher Böden (Bgl. Bodenschutzgesetz). Fassung vom 01.08.2019.
- Amt der Burgenländischen Landesregierung (1991): Verordnung der Burgenländischen Landesregierung vom 11. September 1991 über die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlichen Böden (Bgl. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung). Fassung vom 04.05.2020.
- Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (2015): NÖ Klärschlammverordnung. Fassung vom 01.08.2019.
- Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (1991): Landesgesetz vom 3. Juli 1991 über die Erhaltung und den Schutz des Bodens vor schädlichen Einflüssen sowie über die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (Oö. Bodenschutzgesetz 1991). Fassung vom 01.08.2019.
- Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (2006): Verordnung der Oö. Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden (Oö. Klärschlammverordnung 2006). Fassung vom 01.08.2019.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (1987): Gesetz vom 2. Juni 1987 zum Schutz landwirtschaftlicher Böden (Steirisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz). Fassung vom 01.08.2019.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2007): Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 8. Oktober 2007, über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden (Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007). Fassung vom 31.10.2007.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung – Fachabteilung 19D (2009): Dezentrale Kompostierung in der Steiermark. Graz: Selbstverlag.
- Amt der Vorarlberger Landesregierung (2018): Verordnung der Landesregierung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz der Bodenqualität (Bodenqualitätsverordnung). Fassung vom 01.08.2019.
- Amt der Wiener Landesregierung (2000): Gesetz über das Verbot der Ausbringung von Klärschlamm. Fassung vom 01.08.2019.
- BAFU – Bundesamt für Umwelt (2017): Boden in der Schweiz – Zustand und Entwicklung Stand 2017. Bern: Selbstverlag.
- Bauer, M. und Förstel, T. (2019): Welche Auswirkungen hat die langjährige Anwendung von Klärschlammkompost auf Boden, Ertrag und Schwermetallbelastung bei Gemüse?. Wien: Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur.
- Benavides, M.; Gallego, S. und Tomaro, M. (2005): Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 17, 21-34.
- BGBI – Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (1994): Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelgesetz 1994 - DMG 1994). Fassung vom 01.08.2019.

-
- BGBI – Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2001): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). Fassung vom 01.08.2020.
- BGBI – Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2004): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmung zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden (Düngemittelverordnung, 2004). Fassung vom 11.04.2019.
- BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich – Statusbericht 2021. Wien: Selbstverlag.
- BMLF – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (2010): Richtlinie für die Anwendung von Kompost auf biogenen Abfällen in der Landwirtschaft. Wien: Selbstverlag.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2001): Gesamte Rechtsvorschrift für Kompostverordnung, Fassung vom 01.08.2019. Wien: Selbstverlag.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2005): Stand der Technik der Kompostierung – Richtlinien des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien: Selbstverlag.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2017): Richtlinie für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau 14. und Grünland. Wien: Selbstverlag.
- BMLRT – Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2020): Grüner Bericht 2020 – Die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. <https://gruenerbericht.at/cm4/jdownload/send/2-gr-bericht-terreich/2167-gb2020>. (14.10.2020).
- BMNT – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2017): Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 Teil 1. Wien: Selbstverlag.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Statistiken Klärschlamm. <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/statistiken/klaerschlam/>. (05.05.2020).
- BODENFACHZENTRUM (2019): Bodenbelastung durch Chrom. <https://www.bodenfachzentrum.de/lexikon/bodenbelastung-durch-chrom/>. (Stand 12.05.2021).
- Bohner, A. (2014): Faktoren der Nährstoffverfügbarkeit im Boden des Dauergrünlandes. Fachtagung für biologische Landwirtschaft 2014, 15-22.
- Buchgraber, K. (2000): Einfluss der Biokompostdüngung auf den Boden und die Lebensmittelqualität. ALVA Jahrestagung (2000), 59-60.
- Buchgraber, K. (2018): Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. Graz: Leopold Stocker Verlag.
- Buchgraber, K. (2019): Mündliche Mitteilung vom 05.12.2019.
- Denkhaus, E. und Salnikow, K. (2002): Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity. Critical Reviews in Oncology/Hematology 42 (1): 35-56.
- Diepenbrock, W.; Ellmer, F. und Léon, J. (2016): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 4., aktualisierte Aufl., Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
- Duscher, J. (2020): ÖPUL – Regelungen bei Klärschlammausbringung. <http://www.umweltservice.at/oepul/977/>. (08.04.2020).
-

-
- Dües, G. (1987): Untersuchungen zu den Bindungsformen und ökologische wirksamen Fraktionen ausgewählter toxischer Schwermetalle in ihrer Tiefenverteilung in Hamburger Böden. Hamburger Bodenkundliche Arbeit (9), 266.
- Egle, L.; Amann, A.; Rechberger, H. und Zessner, M. (2016): Phosphor – Eine kritische und zugleich unzureichend genutzte Ressource der Abwasser- und Abfallwirtschaft – Stand des Wissens und Ausblick für Österreich und Europa. Österr. Wasser- und Abfallw. (2016) 68, 118 – 133.
- Elmadfa, I. und Leitzmann, C. (2019): Ernährung des Menschen. 6., aktualisierte Aufl., Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
- Fuhrmann, G. (2006): Toxikologie für Naturwissenschaftler – Einführung in die Theoretische und Spezielle Toxikologie. Wiesbaden: Vieweg und Teubner Verlag.
- Gupta, N.; Yadav, K.K.; Kumar, V.; Kumar, S.; Chadd, R.P. und Kumar, A. (2019): Trace elements in soil-vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration - A review. The Science of the total environment 651 (Pt 2): 2927–2942.
- Hagelversicherung (2020): Dürre auch heuer wieder ein heißes Thema. <https://www.hagel.at/presseaussendungen/duerre-auch-heuer-ein-heisses-thema/>. (20.03.2020).
- Kirchgeßner, M.; Stangl, G.; Schwarz, F.; Roth, F. und Südekum, H. (2014): Tierernährung – Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 14., aktualisierte Aufl., Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH.
- Klopf, K. (2012): Einfluss unterschiedlicher Düngungsintensitäten auf standortbedingte Nährstoffauswaschungen im Feldfutterbau. Wien: Masterarbeit. Universität für Bodenkultur.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2002): Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlament und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2006): Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln.
- Kompost und Biogasverband Österreich (2016): Kompostierung – ein Erfolgsprinzip der Natur. <https://www.kompost-biogas.info/kompost/>. Stand 21.05.2021.
- Krahmer, U.; Hennings, V.; Müller, U. und Schrey, H-P. (1995): Ermittlung bodenphysikalischer Kennwerte in Abhängigkeit von Bodenart, Lagerungsdichte und Humusgehalt. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 158, 232-331.
- LAZBW – Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (2016): Eiweiß von Grünland und Feldfutterbau – Perspektive einer unabhängigen Eiweißversorgung. Aulendorf: Selbstverlag.
- Marschner, H. und Marschner, P. (2012): Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3., aktualisierte Aufl., Amsterdam, Boston: Elsevier Ltd.
- Mengel, K. und Kirkby, E. (2001): Principles of plant nutrition. Dordrecht: Kulwer Academic Publishers.
- Onnen, O. (2001): Umweltschonende Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft – P Wirkung des Klärschlammes in Abhängigkeit von der P-Fällung und vom Substrat. Paderborn: Diss. Universität- Gesamthochschule Paderborn.

-
- Pötsch, E. und Resch, R. (2020): Grünland und Feldfutter – nachhaltige Quelle für pflanzliches Protein. https://raumberg-gumpenstein.at/component/rsfiles/download.html?path=FODOK%2F2019%2Ffodok_2_22043_gr_nland_und_feldfutter_als_wichtige_eiwei_quelle.pdf. (13.10.2020).
- Rauter, B. (2008): Vergleich von Nährstoff- und Schadstoffgehalten in Kompost aus Biogenen Abfällen, Gärrückständen und Klärschlamm. Graz: Selbstverlag.
- Reichl, F.-X.; Benecke, J. und Benecke, M. (2009): Taschenatlas Toxikologie. 3., aktualisierte Aufl., Stuttgart: Thieme Verlag.
- Resch, R. (2008): Ergebnisse Silageprojekt 2003/2005/2007. <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/304-viehwirtschaftstagung-2008/2592-ergebnisse-silageprojekt-2003-2005-2007.html>. (05.05.2020).
- Resch, R.; Gruber, L.; Buchgraber, K.; Pötsch, E.; Guggenberger, T. und Wiedner, G. (2009): Mineralstoffgehalt des Grund- und Kraftfutters in Österreich. 36. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2009, 1-9.
- Resch, R.; Guggenberger, T.; Gruber, L.; Ringdorfer, F.; Buchgraber, K.; Wiedner, G.; Kasal, A. und Wurm, K. (2017): Futterwerttabelle für das Grünland im Alpenraum. <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/860-umweltressourcen-im-gruenland/1350-futterwerttabellen-fuer-das-grundfutter-im-alpenraum.html>. (05.05.2020).
- Rzymiski, P.; Tomczyk, K.; Rzymiski, P.; Poniedziałek, B.; Opala, T. und Wilczak, M. (2015): Impact of heavy metals on the female reproductive system. *Annals of agricultural and environmental medicine*: AAEM 22 (2): 259– 264.
- Spiess, E. und Stauffer, W. (2007): Bestimmung der biologischen N-Fixierung von Leguminosen und der Nitratauswaschung mittels Lysimetern. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 17. und 18. April 2007, 177-178.
- Starz, W.; Pfister, R.; Rohrer, H.; Hein, W. und Walsch, H. (2015): Luzerne und Rotklee gras im oberösterreichischen Alpenvorland. https://raumberg-gumpenstein.at/component/rsfiles/download.html?path=FODOK%2F2015%2Ffodok_4_16590_bio_tagung_klee gras.pdf. (15.10.2020).
- Stichler, H.; Gupta, S. und Schmitt, H. (1987): Auswirkung von Sättigung und Kompetition von Schwermetallen im Klärschlamm auf die Pflanzenaufnahme. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* Jg. 26, Nr. 1./2.: 69 ff.
- Strumpf, T. und Reichmuth, C. (2009): Risikoabschätzung von Schadelementen (Schwermetallen) im System Boden/Pflanze. *Gesunde Pflanzen* 61 (1): 39–50.
- Schönberg, A. und Raupenstrauch, H. (2015): Vom Klärschlamm zu Phosphor – die Zukunft der Verwertung von Klärschlamm. *Energie aus Abfall* Band 12, 477-489.
- Schubert, S. (2011): Pflanzenernährung – Grundwissen Bachelor. 2., aktualisierte Aufl., Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
- Schulze, E.-D.; Beck, E. und Müller-Hohenstein, K. (2002): Pflanzenökologie. Spektrum-Lehrbuch. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Umweltbundesamt (2007): Schwermetalle im Oberboden (Kartenband) - Auswertung aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS. Wien: Selbstverlag.

Umweltbundesamt (2019): Bodenschutz in Österreich.
<https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/boden/zustand/bodenschutz/>
(19.02.2020).

Winter, I. (2019): Behandlung – kommunaler Klärschlamm.
<https://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10168775/4373998/>
(19.02.2020).

7. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Schwermetallgehalt für die Qualitätsklasse B, laut Kompostverordnung (2001).....	3
Tab. 2: Schwermetallgehalte für die Qualitätsklasse A, laut Kompostverordnung (2001).....	4
Tab. 3: Schwermetallgehalte für die Qualitätsklasse A+, laut Kompostverordnung (2001).....	4
Tab. 4: Bandbreite der Gehalte an Gesamt-P und Gesamt-K (% in TM) im Vergleich zu verfügbaren Gehalten im Kompost (BMLF, 2010)	6
Tab. 5: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost (BGBl, 2001).....	10
Tab. 6: Schadstoffgrenzwerte von Klärschlamm in den einzelnen Bundesländern (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 2006; Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2015; Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007 und Amt der Burgenländischen Landesregierung, 1990).....	13
Tab. 7: Schwermetallfrachtenregelung laut der Düngemittelverordnung (BGBl, 2004).....	14
Tab. 8: Höchstgehalte an Schwermetallen in Futtermitteln in mg/kg (Richtlinie 2002/32/EG)	19
Tab. 9.: Höchstgehalte verschiedener Lebensmittel (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006).....	20
Tab. 10: Mittelwerte der Veränderung der Schwermetallgehalte im Boden im Zeitraum von 2001 bis 2018.	28
Tab. 11: Durchschnittlichen Gehalte an Spuren- und Mengenelemente in den einzelnen Düngevarianten beim ersten Kleeerasaufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs sowie die Gehalte der ÖAG Richtwerttabelle.	39
Tab. 12: Schwermetallgehalte des Kleeerases beim ersten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs	51
Tab. 13: Gehalte an Spuren- und Mengenelemente des Kleeerasesfutters beim ersten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs sowie die ÖAG Richtwerte	58
Tab. 14: Schwermetallgehalte der verschiedenen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs des Kleeerases nach dem Silomaismonokulturversuch in Bärnbach 2019.....	62
Tab. 15: Auflistung der durchschnittlichen Schwermetallgehalte des zweiten Aufwuchses in den einzelnen Düngevarianten (Nachwirkung) welche mit der EU-Richtlinie sowie mit Mengel und Kirkby (2001) verglichen werden	74
Tab. 16: Schwermetallgehalte des zweiten Aufwuchses als Nachwirkung der langjährigen Düngevarianten auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches, im Jahr 2019 in Bärnbach.	80
Tab. 17: Mittlere Schwermetallgehalte des dritten Aufwuchses, auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs als Nachwirkung der Düngevarianten	90
Tab. 18: Schwermetallgehalt des dritten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	96

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Stickstoffgehalte (% TS) in den Komposten, in Gärrückständen sowie im Klärschlamm (Rauter, 2008)	6
Abb. 2: Phosphorgehalte in den einzelnen Fraktionen (Rauter, 2008)	7
Abb. 3: Aufteilung der Blöcke auf der Versuchsanlage in Bärnbach	24
Abb. 4: Blockübersicht, auf der Versuchsfläche in Bärnbach	24
Abb. 5: Versuchsplan des Silomaismonokultur Versuchen in Bärnbach im Jahr 1995	25
Abb. 6: Nachwirkungsversuchsfläche, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	27
Abb. 7: TM Erträge des ersten Aufwuchses, in kg TM pro ha in den einzelnen Blöcken bei den verschiedenen Düngevarianten, im Jahr 2019 am Fruchtfolgeversuch in Bärnbach.	30
Abb. 8: Unterschiedliche TM Erträge in kg/ha in den einzelnen Düngevarianten, beim Klee grasversuch als Nachwirkung vom Fruchtfolgeversuch im Jahr 2019 in Bärnbach	31
Abb. 9: TM Erträge in den verschiedenen Blöcken, beim ersten Aufwuchs des Klee grasversuch im Jahr 2019 auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach.	32
Abb. 10: Rohproteingehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs des Klee gras in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.....	34
Abb. 11: Rohfettgehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs des Klee gras in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.....	35
Abb. 12: Rohfasergehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs des Klee grasfutters bei den unterschiedlichen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.....	36
Abb. 13: Rohfasergehalte (g/kg TM) des ersten Aufwuchses in den verschiedenen Blöcken beim Klee grasversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.....	37
Abb. 14: Rohaschegehalte in g/kg TM beim ersten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten beim Klee grasversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.....	38
Abb. 15: Korrelation zwischen Eisen- und Rohaschegehalte beim ersten Aufwuchs im Klee grasversuch auf den Flächen des ehemaligen Fruchtfolgeversuches in Bärnbach im Jahr 2019.....	39
Abb. 16: Kaliumgehalte in g/kg TM beim ersten Klee grasaufwuchs in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.....	40
Abb. 17: Natriumgehalte (mg/kg TM) des ersten Klee grasaufwuchses in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach.....	42
Abb. 18: Phosphorgehalt in g/kg TM beim ersten Klee grasaufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.....	43
Abb. 19: Mangangehalte in mg/kg TM beim ersten Klee grasauswuchs in den einzelnen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach im Jahr 2019.....	44
Abb. 20: Borgehalte in mg/kg TM in den unterschiedlichen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach 2019.	45
Abb. 21: Molybdängehalte in mg/kg TM in den unterschiedlichen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach 2019.....	46
Abb. 22: Chromgehalte in mg/kg TM in den unterschiedlichen Düngevarianten beim ersten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, in Bärnbach 2019.	47

Abb. 23: Nickelgehalte in mg/kg TM beim ersten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	48
Abb. 24: Cadmiumgehalt in mg/kg TM beim ersten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	49
Abb. 25: Bleigehalte in mg/kg TM beim ersten Aufwuchs im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	50
Abb. 26: TM Erträge in kg/ha bei den verschiedenen Düngevarianten beim ersten Kleegrasaufwuchs auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs in Bärnbach 2019.....	55
Abb. 27: TM Erträge in kg/ha des zweiten Aufwuchses auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	66
Abb. 28: Rohproteingehalte des zweiten Aufwuchses (Klee gras) in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019.	68
Abb. 29: Phosphorgehalte in g/kg TM des Klee grasses beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach	69
Abb. 30: Chromgehalte in mg/kg TM des Klee grasses beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach	70
Abb. 31: Nickelgehalte in mg/kg TM des Klee grasfutters beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach	71
Abb. 32: Bleigehalte in mg/kg TM des Klee grasfutters beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach	72
Abb. 33: Cadmiumgehalt in mg/kg TM des Klee grasfutters beim zweiten Aufwuchs auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs im Jahr 2019 in Bärnbach	73
Abb. 34: TM-Erträge des zweiten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	76
Abb. 35: TM-Erträge in kg/ha beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten als Nachwirkung, im Jahr 2019 in Bärnbach.	82
Abb. 36: Rohproteingehalte in g/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	84
Abb. 37: Phosphorgehalte in g/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	85
Abb. 38: Chromgehalte in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	86
Abb. 39: Nickelgehalt in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	87
Abb. 40: Bleigehalte in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	88
Abb. 41: Cadmiumgehalte in mg/kg TM beim dritten Aufwuchs in den verschiedenen Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	89
Abb. 42: TM-Erträge des dritten Aufwuchses auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs als Nachwirkung der Düngevarianten, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	92
Abb. 43: Jahresverlauf und Gesamtertrag der einzelnen Düngevarianten auf den Klee grasflächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	98
Abb. 44: Gesamterträge der TM in kg/ha auf den Klee grasflächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	99
Abb. 45: Rohprotein Jahreserträge des Klee grasfutters in kg/ha auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	101
Abb. 46: Rohprotein erträge des Klee grasfutters in kg/ha auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	102

Abb. 47: N-Entzug des Kleegrases im Nachwirkungsversuch unterteilt in die fünf Düngevarianten auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.	103
Abb. 48: N-Entzug des Nachwirkungsversuchs im Laufe des Jahres auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, in Bärnbach im Jahr 2019.....	104
Abb. 49: Jahresverlauf der Bleigehalte im Nachwirkungsversuch, im Kleegrasfutter der Fruchtfolgeversuchsflächen, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	106
Abb. 50: Jahresverlauf der Bleigehalte im Nachwirkungsversuch auf den Klee grasflächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	107
Abb. 51: Jahresverlauf der Chromgehalte in den verschiedenen Düngevarianten im Nachwirkungsversuch (Klee gras) auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach	108
Abb. 52: Jahresverlauf der Chromgehalte in den fünf Düngevarianten im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	109
Abb. 53: Nickelgehalte im Klee grasfutter im Laufe des Jahres in den verschiedenen Düngevarianten im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	110
Abb. 54: Nickelgehalte im Jahresverlauf im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuchs, im Jahr 2019 in Bärnbach.....	111
Abb. 55: Cadmiumgehalte im Klee grasfutter im Laufe des Jahres im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Fruchtfolgeversuches, im Jahr 2019 in Bärnbach	112
Abb. 56: Cadmiumgehalte im Klee grasfutter im Laufe des Jahres im Nachwirkungsversuch auf den Flächen des Silomaismonokulturversuches, im Jahr 2019 in Bärnbach	113

9. Abkürzungsverzeichnis

AGES	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit
B	Bor
ca.	Circa
Cd	Cadmium
Co	Cobalt
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
Etc.	Et cetera
Fe	Eisen
Hg	Quecksilber
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
Ni	Nickel
NPK	Stickstoff-Phosphor-Kalium (Düngemittel)
Pb	Blei
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
z.B.	Zum Beispiel
Zn	Zink

10. Anhang

Anhang 1: Schwermetallgehalte im Boden im Jahr 2001 und 2018 auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs

Schwermetallgehalte im Boden im Jahr 2001 und 2018 auf den Flächen des Fruchtfolgeversuchs									
Düngung	Jahr	Cu mg/1000g	Pb mg/1000g	Ni mg/1000g	Co mg/1000g	Cd mg/1000g	As mg/1000g	Mo mg/1000g	Hg mg/1000g
1	2001	50.50	31.33	41.83	17.17	0.28	14.67	1.00	0.22
2	2001	49.67	32.33	41.17	17.00	0.30	14.67	1.00	0.25
3	2001	50.33	30.83	41.33	17.17	0.30	14.17	1.00	0.27
4	2001	50.17	31.50	42.17	17.33	0.30	15.00	1.00	0.23
5	2001	49.33	32.00	42.00	17.33	0.30	14.83	1.00	0.22
Düngung	Jahr	Cu mg/1000g	Pb mg/1000g	Ni mg/1000g	Co mg/1000g	Cd mg/1000g	As mg/1000g	Mo mg/1000g	Hg mg/1000g
1	2018	51.83	33.91	46.95	17.69	0.35	16.24	0.83	0.29
2	2018	52.38	34.80	46.77	17.55	0.35	15.98	0.87	0.27
3	2018	51.87	34.03	47.02	17.84	0.35	15.86	0.85	0.27
4	2018	51.82	34.00	47.18	17.80	0.36	16.30	0.87	0.27
5	2018	53.47	41.13	48.41	18.00	0.36	16.43	0.86	0.26